



Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Lean Manufacturing e automazione di
magazzino: un'analisi empirica**

Relatrice: Prof.ssa Anna Corinna Cagliano

Candidata: Valentina Salice

Anno Accademico 2020-2021

Indice

Introduzione	1
1 Lean Manufacturing e automazione di magazzino	3
1.1 Il Lean Manufacturing.....	3
1.1.1 I principi del Lean Manufacturing	4
1.1.2 Il Just In Time.....	6
1.1.3 I sistemi Kanban	8
1.1.4 Gli strumenti del Lean Manufacturing.....	9
1.2 Sistemi automatici di magazzino	12
1.2.1 I sistemi di stoccaggio automatici	14
1.2.2 I sistemi di trasporto automatici.....	20
1.2.3 Il picking automatizzato e le relative tecnologie di supporto.....	25
1.2.4 I vantaggi e gli svantaggi dei sistemi automatici di magazzino.....	33
2 Analisi della letteratura scientifica	35
2.1 La metodologia impiegata per l'analisi della letteratura	35
2.2 Il Lean Warehousing	36
2.3 L'automazione di magazzino	44
2.4 L'applicazione congiunta di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini	53
2.5 Research Gap	58
3 Metodologia di ricerca	59
3.1 La struttura dei questionari	60
3.1.1 Questionario "generale"	60
3.1.2 Questionario per gli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino	61

3.1.3	Questionario per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino.....	62
3.2	L'individuazione dei potenziali rispondenti.....	62
3.3	La somministrazione dei questionari.....	69
3.4	Selezione degli strumenti per l'analisi dei risultati della survey	71
4	Analisi dei risultati della survey	72
4.1	Le caratteristiche generali dei professionisti coinvolti nella ricerca	73
4.2	Analisi sullo stato di applicazione di Lean Manufacturing e automazione	78
4.3	Le operazioni di magazzino impattate positivamente da Lean Manufacturing e automazione	95
4.4	Le motivazioni e le tempistiche di implementazione di Lean e automazione ai magazzini	101
5	Conclusioni	109
5.1	Benefici del lavoro di tesi.....	109
5.2	Limiti del lavoro di tesi.....	111
5.3	Sviluppi futuri di ricerca	111
	Bibliografia.....	113
	Sitografia.....	123
	Appendice 1: Questionario "generale"	125
	Appendice 2: Questionario per gli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino.....	137
	Appendice 3: Questionario per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino	148
	Ringraziamenti.....	156

Introduzione

I magazzini rivestono un ruolo essenziale all'interno delle imprese, sono i luoghi in cui si custodiscono le merci e dove si mettono in atto un insieme di attività al fine di consegnare ai clienti prodotti di qualità, nel minor tempo possibile. Quindi è importante adottare tutti gli accorgimenti necessari per soddisfare al meglio le esigenze dei clienti e per essere competitivi sul mercato.

Nel corso degli ultimi anni, si sentono nominare sempre più frequentemente il Lean Manufacturing e l'automazione di magazzino, di conseguenza, il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di indagare lo stato di applicazione dei due approcci all'interno di imprese manifatturiere, per comprendere, mediante la somministrazione di questionari a professionisti del settore, quanto le due metodologie possano essere efficaci se applicate congiuntamente e i relativi vantaggi e svantaggi che ne potrebbero derivare.

Il primo capitolo verrà dedicato alla trattazione teorica di principi e principali strumenti offerti dalla filosofia Lean, seguita da una classificazione e descrizione delle tipologie di sistemi automatici di magazzino che sono apparse più frequentemente nella letteratura analizzata, cercando di comprendere i benefici più rilevanti e i punti a sfavore che si potrebbero presentare a seguito dell'implementazione.

Il secondo capitolo tratterà lo studio della letteratura. In particolare, si andrà ad analizzare come sia stato implementato il Lean Manufacturing da parte delle imprese e quali siano stati i settori maggiormente studiati dalla ricerca su questo argomento. In seguito, si esamineranno diversi articoli scientifici in cui i ricercatori hanno cercato di individuare quali soluzioni automatiche potessero essere applicate all'interno dei magazzini, analizzandone i rispettivi vantaggi e svantaggi. Il paragrafo successivo sarà dedicato all'analisi di alcune pubblicazioni in cui è stata descritta l'applicazione combinata di Lean e automazione ai magazzini. Alla luce della letteratura presa in esame, infine, si individuerà il research gap affrontato in questo elaborato, legato alla mancanza di un'analisi empirica che vada a coinvolgere diversi professionisti, conoscitori o esperti di Lean Manufacturing e di automazione di magazzino, al fine di comprendere la loro opinione rispetto all'utilizzo congiunto di questi due approcci.

Il terzo capitolo sarà dedicato alla descrizione della metodologia applicata al presente lavoro di ricerca. Si esplicherà la struttura dei questionari dedicati alle figure professionali che conoscono, utilizzano oppure implementano la filosofia Lean o l'automazione di magazzino, la motivazione che si cela dietro alla scelta delle domande, i potenziali rispondenti individuati e la selezione degli strumenti matematici designati per le analisi successive.

Il quarto capitolo includerà un'accurata analisi dei risultati ottenuti dai questionari somministrati, la quale permetterà di comprendere il legame esistente tra Lean Manufacturing e automazione, lo stato di applicazione nei magazzini di imprese manifatturiere appartenenti a differenti settori, ma anche l'eventuale presenza di opinioni differenti rispetto a queste tematiche di interesse per la ricerca, secondo le figure professionali coinvolte nell'indagine.

Il quinto capitolo sarà dedicato alla valutazione dei benefici che la presente ricerca può portare allo stato dell'arte relativo all'applicazione congiunta dei due approcci in esame. Si andrà, infine, a discutere i limiti del lavoro di tesi e i possibili sviluppi futuri di ricerca.

Il presente elaborato ha permesso di indagare come le imprese, soprattutto nel corso degli ultimi anni, si stiano orientando verso l'introduzione di Lean Manufacturing e automazione nei magazzini, indipendentemente dal settore di appartenenza. Secondo la maggior parte dei professionisti che applicano Lean e automazione ai magazzini e gli esperti di questi due approcci, è opportuno implementare prima il Lean Manufacturing e poi l'automazione di magazzino, continuando ad utilizzare in futuro gli strumenti offerti dalla filosofia Lean, in un'ottica di miglioramento continuo. Inoltre, l'analisi empirica condotta ha consentito di rilevare che alcune operazioni di magazzino, come lo stoccaggio e il prelievo delle merci, sembrano beneficiare maggiormente dell'utilizzo combinato di Lean e automazione. Infine, i dati raccolti hanno messo in evidenza che l'impiego congiunto dei due approcci in esame può condurre le imprese in cui vengono applicati verso notevoli vantaggi, permettendo un'ottimizzazione degli spazi e delle scorte, una migliore gestione dei flussi, ma anche una riduzione di tempi, sprechi ed errori umani.

1 Lean Manufacturing e automazione di magazzino

Nel corso degli anni, le aziende si sono trovate a gestire un mercato sempre più ampio e globalizzato, dove può diventare difficile garantire una risposta opportuna alle continue fluttuazioni della domanda. Di conseguenza le imprese hanno dovuto attrezzarsi per soddisfare meglio le esigenze dei clienti e conseguire buone performance aziendali. Tra i processi aziendali, le attività di magazzino rivestono un ruolo essenziale, ma spesso vengono viste come una fonte di sprechi e questo può portare a risultati negativi per l'impresa. Uno strumento riconosciuto di rimozione ed individuazione degli sprechi, che può essere considerato un valido aiuto in tal senso, è il Lean Manufacturing. Inoltre, molte aziende si stanno orientando verso l'automazione perché, laddove è stata applicata, tendenzialmente, ha apportato buoni risultati. Per questi motivi, il primo capitolo del presente elaborato di tesi sarà dedicato allo studio di principi e strumenti forniti dalla filosofia Lean, seguito da una descrizione delle principali tipologie di magazzini automatici esistenti, in modo da porre le basi per la trattazione relativa al tipo di legame esistente tra questi due concetti che verrà effettuata nei capitoli successivi.

1.1 Il Lean Manufacturing

Il Lean Manufacturing nacque in Giappone intorno agli anni '50. L'utilizzo iniziale di questa metodologia avvenne negli stabilimenti produttivi della casa automobilistica giapponese Toyota, la quale identificò una serie di principi e di strumenti per rimuovere gli sprechi produttivi e creare un nuovo tipo di produzione basata su un sistema pull, capace quindi di dare maggior reattività all'impresa per soddisfare la domanda proveniente dal mercato [1].

Il termine "Lean Production", ovvero produzione snella, però fu coniato per la prima volta solo negli anni '90 all'interno del libro *"The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production"* di Womack *et al.* e da quel momento ci fu la sua diffusione a livello globale [2].

1.1.1 I principi del Lean Manufacturing

Secondo Phogat (2013) per costruire un processo produttivo snello sono necessari cinque principi fondamentali:

- Identificare il valore dal punto di vista del cliente.
- Mappare il flusso di valore in modo da comprendere come generare valore per i clienti attraverso i processi necessari per la realizzazione di un prodotto.
- Creare il flusso dei processi ovvero ideare un unico flusso di valore.
- Istituire un sistema pull al fine di produrre beni e servizi secondo le tempistiche dettate dai clienti.
- Ricercare la perfezione delle attività appena citate attraverso un procedimento di miglioramento continuo.

Come si può osservare in Figura 1, i principi appena esposti devono essere applicati nell'ordine descritto e richiedono una ripetizione costante nel corso del tempo, al fine di ottimizzare i processi produttivi dell'impresa.

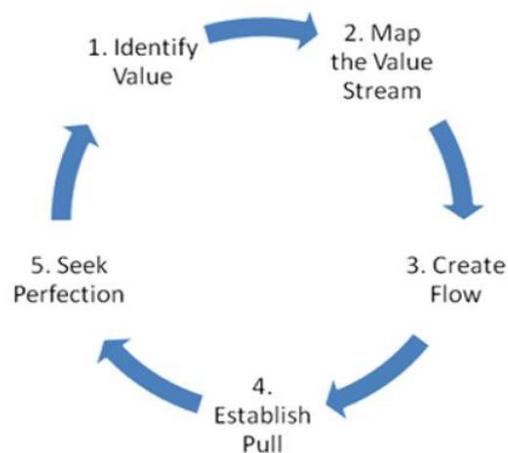


Figura 1 - Principi del Lean (Phogat, 2013)

L'idea di continua ricerca della perfezione è quindi connessa alla filosofia Kaizen che è stata pensata da un manager di Toyota, Masaaki Imai, negli anni '80. Il termine Kaizen infatti significa mettere in atto cambiamenti che permettono di attivare un processo di miglioramento continuo [3].

Come osservato da Arunagiri e Gnanavelbabu (2014), secondo la filosofia Lean, durante il ciclo produttivo, possono emergere alcuni degli sprechi (Muda), riassunti in Figura 2, che devono essere identificati e rimossi:

- Sovrapproduzione: è necessario evitare di avere delle rimanenze in eccesso ma è opportuno avere una produzione che sia guidata dalla domanda, pianificando quanto produrre sulla base degli ordini ricevuti.
- Difetti: durante il processo produttivo, alcuni prodotti possono risultare difettosi e necessitano quindi di essere scartati o rilavorati ma questo comporta uno spreco in termini economici e quindi conviene analizzare attentamente il prodotto durante il suo ciclo produttivo in modo da intervenire tempestivamente. Bisogna quindi evitare il più possibile che i prodotti difettosi giungano al cliente perché ciò potrebbero essere motivo di forte insoddisfazione.
- Spostamenti inutili: la movimentazione di materiali e risorse all'interno del ciclo produttivo comporta una riduzione di produttività e non fornisce valore aggiunto alla produzione, è quindi uno spreco che deve essere ridotto o eliminato.
- Magazzini inutili: i materiali inglobati nel processo costituiscono una perdita di valore perché generano un costo che non fornisce ricavi e per questo dovrebbero essere ridotti al minimo.
- Processi inutili: è opportuno individuare le inefficienze presenti nel ciclo produttivo perché comportano costi e non permettono di conferire valore aggiunto al prodotto. Sarebbe conveniente analizzare attentamente tutti i processi presenti, rimuovendo quelli che risultano essere non strettamente necessari.
- Trasporti: si possono generare sprechi anche nelle operazioni di trasporto che avvengono tra i diversi reparti e quindi, per evitare di incorrere in essi, è importante che si attuino solo i trasporti realmente essenziali.
- Attese: i tempi di attesa non necessari che si creano all'interno del ciclo di fabbricazione del prodotto devono essere eliminati perché rappresentano anch'essi una fonte di sprechi.



Figura 2 - I 7 sprechi [4]

1.1.2 Il Just In Time

Il Just in Time (JIT) è uno dei fondamenti del Lean Manufacturing. Negli anni '70, il suo inventore, vicepresidente di Toyota, Taiichi Ohno, si rese conto che per competere con le grandi imprese americane del settore automobilistico occorreva eliminare gli sprechi e produrre a costi inferiori, in modo da soddisfare adeguatamente le necessità dei clienti, nei tempi e nelle quantità richieste, minimizzando il più possibile eventuali ritardi. Questo porta alla creazione di un sistema pull, secondo il quale ciascuna stazione di lavoro riceve i materiali necessari per realizzare i prodotti finiti quando lo richiede la domanda, permettendo quindi di ridurre notevolmente l'inventario in eccesso. In alcuni casi il JIT può essere difficile da perseguire per motivi culturali, per un'attitudine dei lavoratori poco propensa al cambiamento e alla novità ma anche per l'errata convinzione di alcune imprese nel ritenere conveniente la presenza di un ampio inventario per compensare una scarsa accuratezza nell'effettuare previsioni relative alla domanda di mercato (Kootanaee *et al.*, 2013).

Il JIT si fonda sui seguenti "seven zeros" che mirano ad arrivare al concetto di "zero inventories":

- Zero difetti: è necessario che ogni parte richiesta dalle stazioni di lavoro sia di buona qualità e quindi non difettosa, perché la presenza di difetti può causare ritardi nella produzione.
- Dimensione del lotto (in eccesso) pari a zero: la ricezione di grandi lotti produttivi può pregiudicare il soddisfacimento degli ordini dei clienti perché richiede tempo e potenzialmente potrebbero verificarsi dei ritardi, di conseguenza la cosa migliore da fare è avere dei lotti unitari, in modo da garantire il massimo grado di reattività.
- Zero setups: la presenza di tempi di setups induce ad avere dei lotti di grandi dimensioni, per cui eliminando i tempi di attrezzaggio dei macchinari si ha la possibilità di ottenere dei lotti di dimensione unitaria.
- Zero guasti: la presenza di guasti ai macchinari può condurre al blocco dell'intera linea e poiché il JIT mira a non creare WIP addizionali, è richiesto che le attrezzature siano in ottime condizioni.
- Zero movimentazioni: è necessario che i materiali non vengano movimentati inutilmente.
- Zero lead time: dal momento in cui è verificata questa condizione, le parti richieste dalle stazioni a valle del ciclo produttivo sono fornite nell'immediato. Ciò è favorito in presenza di lotti di dimensione unitaria e tempi di attesa molto ridotti.
- Zero picchi: secondo il JIT la produzione dovrebbe avviarsi solo a seguito di una richiesta da parte della domanda, ma se si verificano delle forti fluttuazioni di essa, sarà impossibile soddisfarla e si verificheranno dei ritardi. È opportuno quindi che la produzione sia la più regolare possibile.

Gli obiettivi del JIT sono però molto difficili da perseguire in senso stretto, per cui devono essere intesi essenzialmente come una tendenza da seguire in un'ottica di miglioramento continuo (Hopp e Spearman, 2000).

1.1.3 I sistemi Kanban

Il JIT viene spesso implementato tramite i cosiddetti sistemi Kanban. Il termine giapponese “Kanban” significa “cartellino” ed è lo strumento mediante il quale si riportano le informazioni necessarie per la produzione, le movimentazioni e gli acquisti di materiali. L’obiettivo principale del Kanban è ridurre i tempi di fermo macchina, incrementando quindi la produttività e mirando alla riduzione dei sette sprechi tipici del processo produttivo, identificati secondo la filosofia Lean. Questo determina un focus ben improntato sull’analisi dei flussi esistenti e sul miglioramento continuo (Wakode *et al.*, 2015).

Come è stato constatato da Hopp e Spearman (2000), le due tipologie di Kanban sono le seguenti:

- I Kanban di movimentazione o di prelievo che servono per il trasferimento di materiali nel processo produttivo.
- I Kanban di produzione che autorizzano la produzione nelle stazioni a monte per soddisfare le richieste delle aree produttive poste a valle, che necessitano di materiali per dare seguito alla domanda. Si ha quindi una produzione che viene “tirata” dalle richieste dei clienti.

Di conseguenza, i cartellini favoriscono la realizzazione di un sistema produttivo in cui il lavoro non viene pianificato, come accade in un sistema push, ma autorizzato a seguito della ricezione di un ordine, per questo motivo si parla quindi di sistema pull.

Questo modo di procedere conduce ad una riduzione degli sprechi perché favorisce la produzione solo di ciò che è realmente necessario per soddisfare la domanda, evitando di avere materiali in eccesso che rappresentano un costo per l’impresa.

1.1.4 Gli strumenti del Lean Manufacturing

Il Lean Manufacturing si serve di molteplici strumenti per migliorare la produttività dell'impresa.

Il primo strumento che verrà analizzato è la Value Stream Mapping (VSM) che permette di mappare il processo in esame, rappresentando sia i flussi di materiali sia i flussi informativi, al fine di individuare le attività che aggiungono valore al prodotto e quelle che invece possono essere eliminate perché rappresentano solamente uno spreco. Come primo passo è necessario comprendere quali prodotti tracciare, gli attori coinvolti e i processi esistenti, al fine di rappresentare i flussi di interesse nella Current State Map (Figura 3). Dopo aver analizzato la situazione corrente, si identificano gli sprechi esistenti, con l'obiettivo di eliminarli adottando, ad esempio, altri strumenti offerti dal Lean Manufacturing. Questi efficientamenti del processo conducono, infine, alla realizzazione della Future State Map che dovrà essere rivista periodicamente in un'ottica di miglioramento continuo (Silva, 2012).

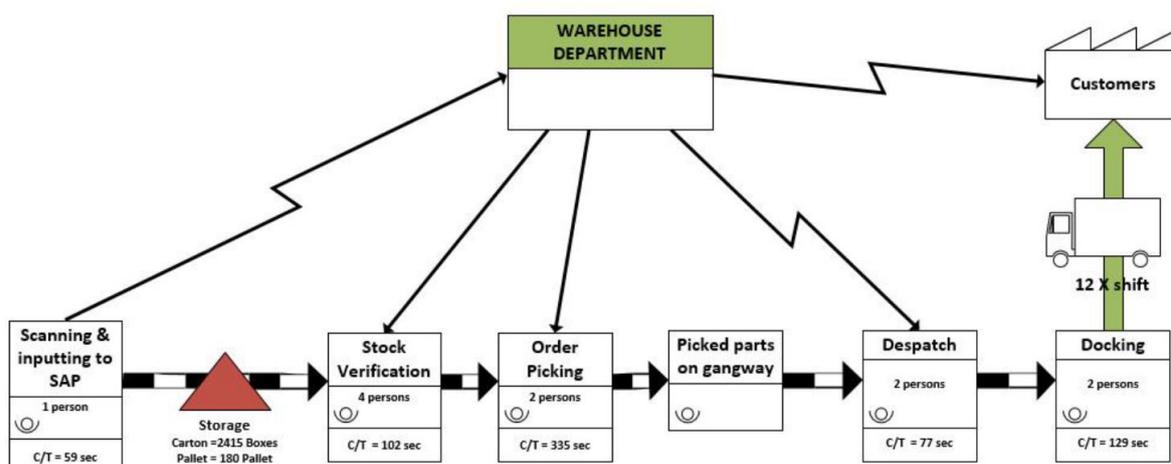


Figura 3 - Current State Map relativa al magazzino di un'impresa manifatturiera (Baby et al., 2018)

Un altro strumento che può essere utilizzato secondo la metodologia Lean è lo Spaghetti Chart (Figura 4). Quest'ultimo è una tecnica grafica che permette di identificare eventuali

sprechi presenti nel processo in esame, rappresentando i flussi fisici di materiali, documenti e persone.

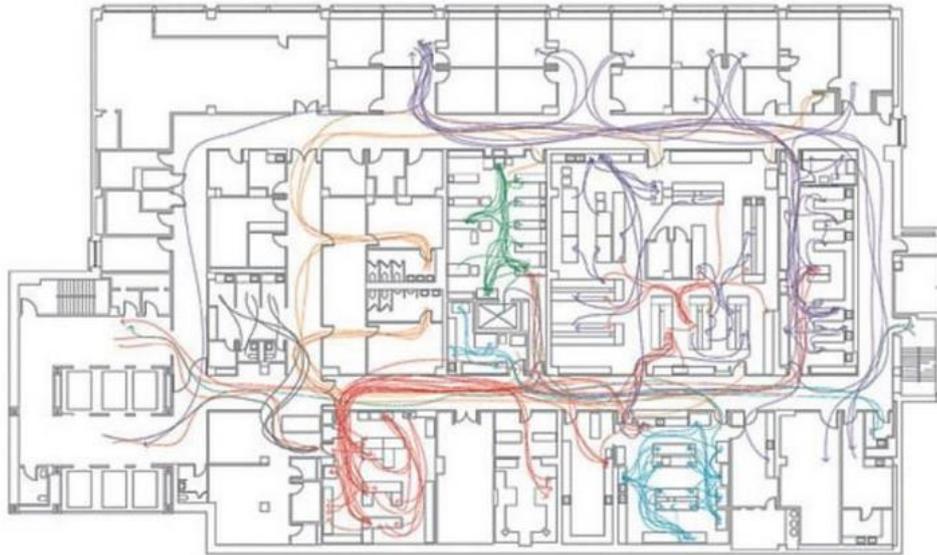


Figura 4 - Esempio di applicazione dello Spaghetti Chart [5]

Questo strumento ha come principale punto di forza l'identificazione di possibili sprechi, che una volta ridotti o eliminati, conducono ad una riduzione di trasporti, movimentazioni e tempi di attesa (Venkat Jayanth *et al.*, 2020).

Le pratiche 5S sono un altro strumento molto utile per l'identificazione e per la rimozione degli sprechi e mirano ad un'ottimizzazione dell'efficienza e della produttività.

La prima S indica il Sort ovvero la necessità di organizzare tutti i materiali necessari nell'ambiente di lavoro, rimuovendo quelli superflui. La seconda S denota il Set in order secondo il quale i materiali devono essere disposti in modo da avere un rapido accesso ad essi, facilitando anche il riposizionamento dopo l'uso. La S successiva riguarda lo Shine ossia la pulizia periodica di ogni strumento di lavoro in modo da prevenire inefficienza, scarsa produttività e possibili incidenti. La quarta S coincide con lo Standardize cioè si sostiene l'importanza di documentare il metodo in esame, mettendo in atto delle procedure standard. Infine l'ultima S indica Sustain o Self-discipline secondo cui è opportuno che all'interno dell'impresa ci sia un continuo mantenimento delle pratiche designate, integrando il metodo nella cultura aziendale (Veres *et al.*, 2018).

La tecnica 5 Whys consente invece di identificare qual è la radice di un problema andando a ripetere, solitamente per un massimo di cinque volte, la domanda “perché?”. Questo strumento viene spesso impiegato per la costruzione del diagramma di Ishikawa (Figura 5), chiamato anche diagramma a lisca di pesce, perché dà la possibilità di comprendere, rispetto a una certa problematica, quali sono i rapporti causa-effetto che si possono generare, risalendo alle cause primarie che hanno provocato quel problema (Abideen e Binti Mohamad, 2019).

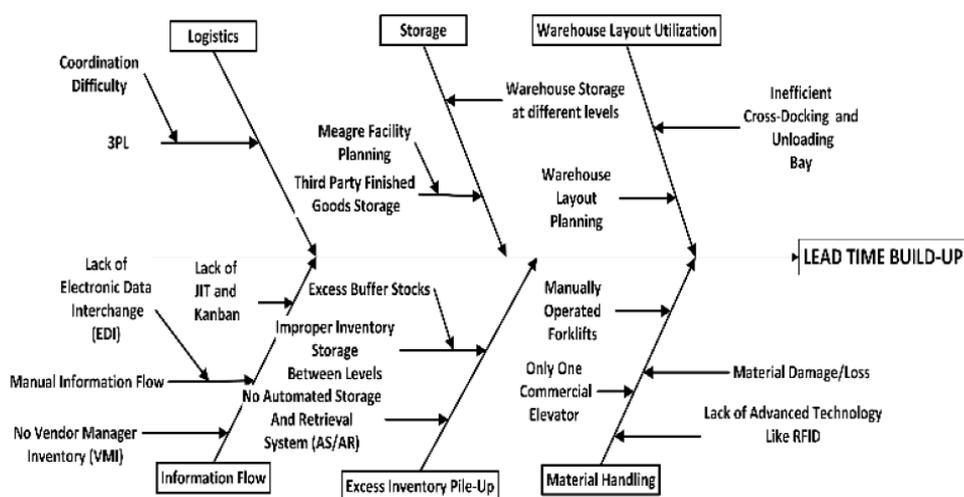


Figura 5 – Esempio di un diagramma di Ishikawa (Abideen e Binti Mohamad, 2019)

Tra le tecniche che vengono adottate per supportare la filosofia Lean Manufacturing, rientra il concetto di Jidoka. Con questo termine si indica la capacità di un operatore di essere autonomo nello svolgimento delle proprie attività in modo da accorgersi tempestivamente di pezzi difettosi che fuoriescono dal sistema produttivo, interrompendo la produzione, o di eventuali malfunzionamenti e problemi da segnalare. In questo modo, si ha la possibilità di rilevare come si è generato il difetto o la criticità, creando quindi un processo produttivo maggiormente efficiente (Rewers *et al.*, 2016).

L'ultimo strumento della metodologia Lean che viene analizzato è il Poka-Yoke. Quest'ultimo è costituito da un insieme di tecniche che mirano al raggiungimento di zero difetti, guidando l'operatore durante lo svolgimento delle sue attività tramite alcuni

meccanismi a “prova di errore”. In questo modo, si possono ottenere diversi benefici, tra cui la riduzione dei difetti, dei tempi da dedicare al controllo qualità e alla formazione dei dipendenti, di cui potrà beneficiare l’intera impresa (Rewers *et al.*, 2016).

1.2 Sistemi automatici di magazzino

I magazzini rivestono un ruolo essenziale all’interno delle imprese e sono i luoghi in cui si custodiscono le merci (Pandian, 2019).

Come constatato da Karasek (2013), indipendentemente dal settore di riferimento, nei magazzini si possono osservare ricorrentemente le seguenti operazioni:

1. Ricevimento delle merci: è la fase in cui vengono ricevute le merci che devono essere opportunamente controllate per verificare che siano adeguate agli standard richiesti, prima di trasferirle nelle aree di stoccaggio. Una volta che i prodotti vengono ritenuti idonei, possono essere registrati nei sistemi informativi aziendali.
2. Put-away: è l’operazione necessaria per definire dove stoccare i materiali che sono stati ricevuti. La scelta di collocazione è molto importante per garantire un corretto posizionamento dei materiali, al fine di assicurare un adeguato livello di efficienza del magazzino. Queste informazioni dovrebbero essere archiviate all’interno dei sistemi informativi aziendali, al fine di tenere traccia di ciò che è presente in magazzino, quali sono gli spazi a disposizione e avere un controllo efficace.
3. Stoccaggio: consiste nell’allocazione delle merci negli spazi che sono stati definiti nella fase precedente.
4. Prelievo delle merci: in seguito agli ordini da parte dei clienti, è necessario prelevare dagli scaffali del magazzino ciò che è stato richiesto. Questa attività è ritenuta la più costosa, per questo deve essere ottimizzata al fine di evitare di incorrere in costi elevati e raggiungere la maggiore efficienza possibile. In alcuni casi si parla di consolidamento quando ci sono più operatori che si occupano del soddisfacimento dell’ordine. Inoltre, è molto importante che gli ordini vengano controllati accuratamente prima di essere evasi.

5. Imballaggio: dopo aver raccolto gli ordini dalle rispettive posizioni, bisogna imballarli in modo tale da renderli pronti per il trasporto e per la successiva spedizione.
6. Spedizione: è l'ultima operazione di magazzino e conduce al caricamento dei materiali nei mezzi di trasporto adibiti, in modo tale da recapitare la merce ai clienti.

Le operazioni di magazzino possono ritenersi compiute nel miglior modo possibile qualora l'ordine venga evaso in tempi e costi minimi e nel caso in cui si soddisfino pienamente le aspettative dei clienti (Karasek, 2013).

L'ottimizzazione delle attività e degli spazi di magazzino necessari per svolgerle è essenziale per il conseguimento di buone performance aziendali ma molto spesso, una gestione non opportuna, conduce ad ingenti costi che non permettono di raggiungere gli obiettivi economici prefissati. Inoltre, in molti settori, si è osservata una crescita della domanda di mercato che porta ulteriori difficoltà per le imprese che devono essere capaci di arrivare a determinati livelli di efficienza al fine di poter competere adeguatamente sul mercato (Pandian, 2019).

Affinché sia possibile migliorare le performance aziendali, un valido aiuto può essere fornito dalla filosofia Lean, applicabile non solo in ambito produttivo ma in svariati ambiti, tra cui quello logistico. Il Lean Manufacturing e i relativi strumenti permettono infatti di individuare tutte quelle attività di magazzino che non aggiungono valore e che possono quindi essere rimosse perché rappresentano uno spreco (Bonilla-Ramirez *et al.*, 2019).

Un'ulteriore soluzione che può essere proposta per ridurre gli sprechi e migliorare le prestazioni è l'introduzione di sistemi automatici, i quali prevedono che le operazioni di magazzino vengano eseguite da macchinari automatizzati (Pandian, 2019).

In letteratura, l'automazione di magazzino è stata riconosciuta come una fonte di riduzione dei costi e di maggiore efficienza, tuttavia, l'implementazione appare difficoltosa e ciò è ancora più evidente nei paesi in via di sviluppo. Ad esempio, il riadeguamento dei layout con i nuovi macchinari può essere un investimento molto oneroso da sostenere, poiché i ritorni finanziari non saranno immediati, ma si potranno raggiungere solo dopo diversi anni. Per di più, la presenza di sistemi fortemente automatizzati, in caso di

malfunzionamenti, potrebbe comportare un blocco totale delle operazioni di magazzino, impedendo lo svolgimento dei processi quotidiani e causando perdite per l'impresa. Per cui è sempre opportuno analizzare attentamente l'azienda, gli obiettivi, i clienti e le performance che si vogliono ottenere, per comprendere se l'automazione di magazzino può essere la soluzione da perseguire (Kamali, 2019).

Per la trattazione dei paragrafi successivi, i sistemi automatici di magazzino verranno categorizzati come segue:

- Sistemi di stoccaggio automatici: dedicati alla movimentazione e alla predisposizione dei materiali sugli scaffali, in modo meccanico.
- Sistemi di trasporto automatici: impiegati per movimentare le merci all'interno del magazzino per mezzo di macchinari automatizzati.
- Sistemi per il picking automatico: solitamente rappresentati da robot dotati di bracci meccanici al fine di prelevare le merci richieste dai clienti.
- Sistemi per il packaging automatico: dedicati all'imballaggio delle merci precedentemente prelevate, al fine di renderle disponibili per la spedizione.

Nei paragrafi successivi saranno dettagliate le tipologie di sistemi automatici di magazzino che sono apparse in maniera più ricorrente nella letteratura analizzata e sono state quindi ritenute maggiormente rilevanti per il presente lavoro di tesi.

1.2.1 I sistemi di stoccaggio automatici

Lo stoccaggio automatico prevede sistemi differenti a seconda che sia necessario immagazzinare unità di carico (UdC) pallettizzate, ovvero merce accatastata sopra i pallet, oppure piccole UdC.

Tra i sistemi di stoccaggio automatici per UdC pallettizzate figura quello servito da trasloelevatori (Dorner e Blaho, 2011), di cui viene data una rappresentazione in Figura 6. Il trasloelevatore a seconda della portata necessaria, può essere costituito da una o da due colonne verticali, predisposte per l'inserimento di un telaio scorrevole che permette la movimentazione delle unità di carico. Il telaio mobile, infatti, prevede la presenza di forche

che si occupano di questa movimentazione. Il sistema è costituito, inoltre, da una trave inferiore che sostiene la colonna ed è montata sopra a delle ruote che permettono gli spostamenti lungo una rotaia a pavimento. La verticalità del trasloelevatore è garantita dall'esistenza di una trave superiore, dalla rotaia e dalle ruote necessarie per lo scorrimento. Infine si hanno dei motori elettrici per effettuare le movimentazioni necessarie e per innestare le diverse apparecchiature. Il trasloelevatore può spostarsi contemporaneamente lungo l'asse x, per effettuare una traslazione, e lungo l'asse y per le movimentazioni verticali, dedite al sollevamento. La movimentazione lungo l'asse z può avvenire solo quando il sistema è immobile e posizionato di fronte allo scaffale in cui avviene l'immagazzinaggio e serve quindi per predisporre, o per prelevare, il carico, mediante un movimento trasversale. In alcuni casi, il posizionamento corretto viene supportato dall'introduzione di sensori o di fotocellule sulle forche, generalmente telescopiche, che vengono utilizzate per la movimentazione trasversale lungo l'asse z (Monte, 2009).

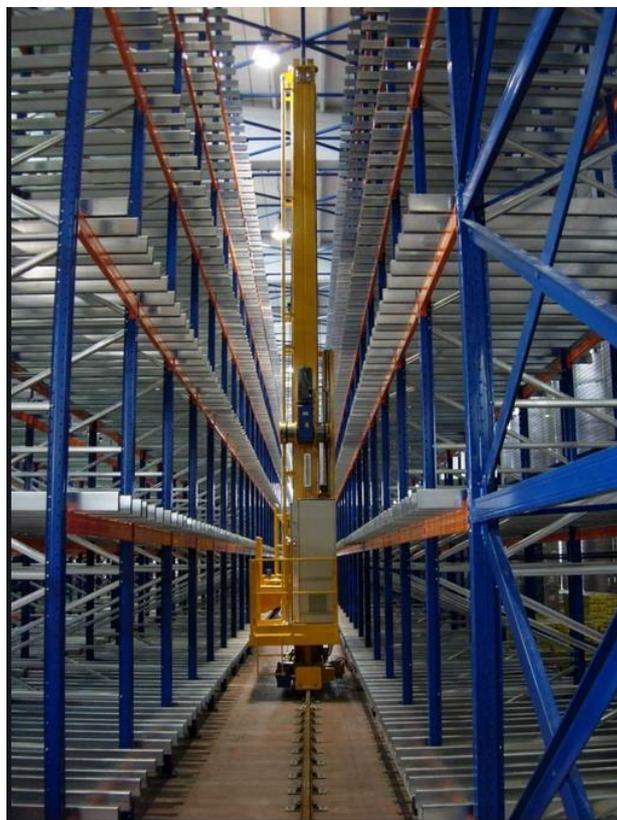


Figura 6 - Magazzino automatico servito da trasloelevatore [6]

I vantaggi maggiormente riconosciuti dell'implementazione di sistemi di stoccaggio automatici serviti da trasloelevatori sono la possibilità di collocare al meglio i materiali all'interno degli scaffali, raggiungendo altezze molto elevate, e la possibilità di movimentare i materiali immagazzinati molto rapidamente facilitando la messa in pratica delle logiche di gestione del magazzino del tipo First In First Out (FIFO) e del Last In First Out (LIFO) (Monte, 2009).

Si è deciso di trattare solo questo sistema di stoccaggio automatico per UdC di grandi dimensioni perché viene considerato da alcuni produttori di soluzioni automatiche di magazzino come il più utilizzato [7]. Per questo motivo si è ritenuto quello più rilevante per le analisi che verranno effettuate nei capitoli successivi.

Lo stoccaggio automatizzato di unità di carico di piccole dimensioni può essere invece effettuato mediante i magazzini automatici verticali e orizzontali, i miniload e gli AutoStore. Si è giudicato opportuno descrivere i sistemi di stoccaggio automatici per UdC di piccole dimensioni rispetto ai quali si è deciso di approfondire, nel presente lavoro di tesi, la diffusione e i vantaggi e svantaggi che ne possono derivare, una volta introdotti in magazzino.

I magazzini automatici verticali (Figura 7) sono sistemi dove la merce viene stoccata sopra i cosiddetti vassoi. Quando arriva l'ordine, il vassoio che lo contiene viene movimentato da un sistema automatizzato chiamato estrattore, verso la postazione dell'operatore addetto al picking. Questa tipologia di sistemi garantisce un notevole risparmio in termini di spazio, aumenta la produttività e l'efficienza perché riduce gli spostamenti dei picker da un punto di stoccaggio ad un altro (Nicolas *et al.*, 2018).



Figura 7 – Magazzino automatico verticale [8]

Oltre ai magazzini automatici verticali esistono anche quelli automatici orizzontali (Figura 8). La differenza sostanziale tra le due tipologie è legata all'occupazione degli spazi: i magazzini automatici verticali permettono di sfruttare gli edifici in altezza mentre quelli orizzontali si servono della superficie che hanno a disposizione in lunghezza, soprattutto in quei depositi che non hanno un'elevazione eccessiva.

In entrambi i casi, si è osservato che i ritorni dell'investimento sono molto brevi e la gestione del magazzino diventa molto efficace. Gli altri vantaggi riconosciuti sono sostanzialmente gli stessi dei sistemi di stoccaggio automatici verticali [9].



Figura 8 - Magazzini automatici orizzontali [9]

Il controllo della merce stoccata è favorito qualora si vada ad integrare il magazzino automatizzato con i sistemi aziendali dedicati, come il Warehouse Management System (WMS), in cui tutte le informazioni rilevanti relative ai prodotti sono registrate in tempo reale. I dati raccolti consentono inoltre di verificare i livelli di inventario e di massimizzare lo spazio a disposizione (Dotoli *et al.*, 2013).

In presenza di unità di carico di piccole dimensioni, un altro sistema di stoccaggio molto utilizzato è il miniload (Figura 9). Quest'ultimo è costituito da scaffalature, nel mezzo delle quali, viene predisposto un trasloelevatore che si occupa delle operazioni di immagazzinaggio e di prelievo delle merci, generalmente poste all'interno di piccoli contenitori. I principali vantaggi dati da questo sistema sono una diminuzione dei costi del lavoro, una migliore gestione degli spazi di occupazione sugli scaffali ed un perfezionamento di controllo e gestione dell'inventario (Vasili *et al.*, 2008).

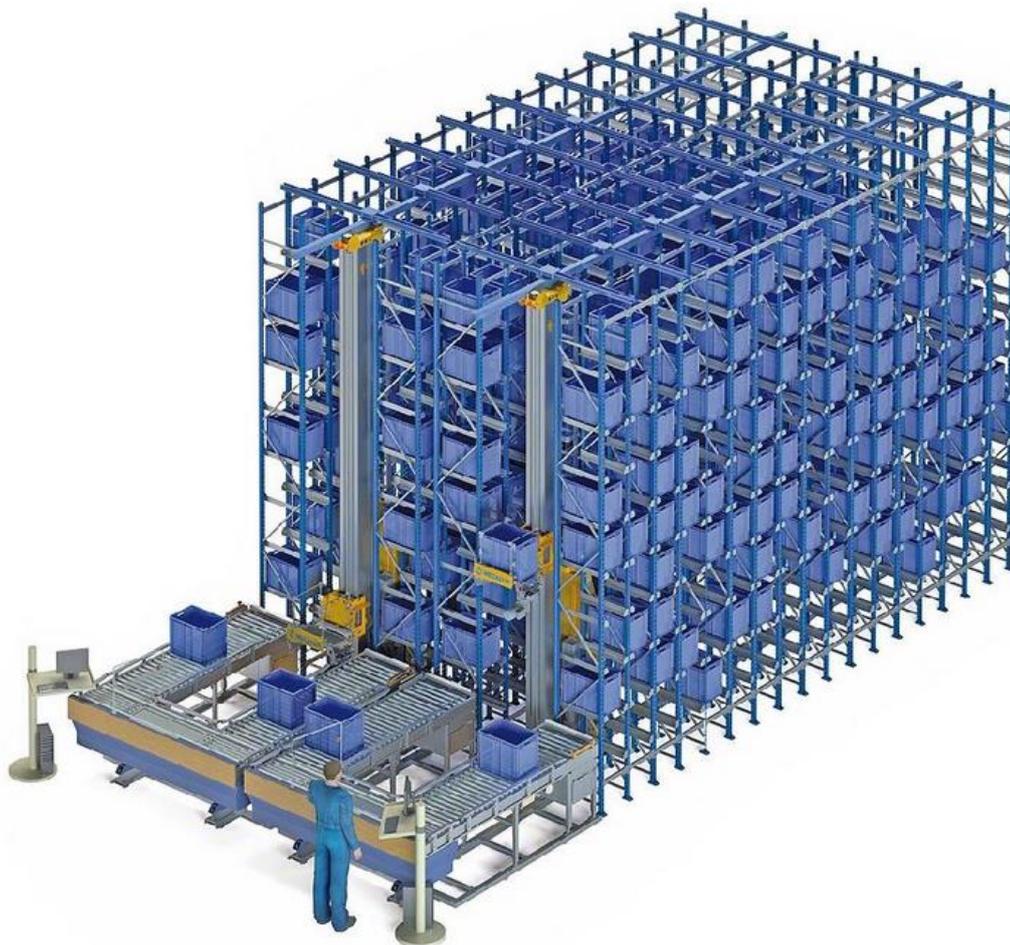


Figura 9 – Schematizzazione di un miniload per lo stoccaggio di UdC di piccole dimensioni [10]

L'ultimo sistema di stoccaggio, impiegato in presenza di unità di carico di piccole dimensioni che viene preso in esame è l'AutoStore (Figura 10). Il sistema viene predisposto in maniera ottimale in tutto lo spazio che si ha a disposizione nell'edificio, garantendo un'elevata capacità di stoccaggio. L'AutoStore è un sistema di magazzino automatico che si eleva in altezza in cui il prelievo viene effettuato dall'alto e i materiali sono inseriti all'interno di contenitori, in genere cassette, per favorire la sovrapposizione.

Le aziende che hanno iniziato ad utilizzare questo sistema, hanno riconosciuto notevoli benefici sia in termini di riduzione degli sprechi sia nell'ottimizzare di alcune operazioni come il picking, che viene svolto molto più velocemente ed efficacemente. Questo conduce quindi a delle migliori performance aziendali [11].



Figura 10 – AutoStore per lo stoccaggio di UdC di piccole dimensioni [11]

1.2.2 I sistemi di trasporto automatici

Negli ultimi anni, anche i trasporti interni al magazzino hanno subito una modernizzazione, tanto che, si è avuta una diffusione di diverse tipologie di sistemi di trasporto automatici che stanno andando a sostituire o ad integrarsi ai tradizionali sistemi di trasporto.

Nel presente paragrafo verranno prese in esame le tipologie di sistemi di trasporto automatico che si sono presentate più frequentemente nella letteratura analizzata che verrà discussa nel capitolo 2.

I veicoli a guida automatica, in inglese Automatic Guided Vehicles (AGV), consentono il trasporto di merci all'interno del magazzino e sono costituiti da quattro parti fondamentali:

- I carrelli che rappresentano quella porzione di sistema dedita al trasporto effettivo.
- Un sistema di guida che suggerisce ai carrelli i percorsi che devono seguire.
- Un sistema di gestione che si occupa dell'identificazione dei migliori percorsi che i carrelli devono intraprendere per evitare collisioni durante il tragitto.
- Un impianto dedito alla trasmissione di tutte le informazioni necessarie per il trasporto.

In Figura 11 viene riportata una rappresentazione di un generico sistema AGV.



Figura 11 - Sistema AGV [12]

Le categorie maggiormente riconosciute di sistemi di guida degli AGV sono schematizzate in Figura 12.



Figura 12 - Classificazione dei sistemi di guida degli AGV (Monte, 2009)

I veicoli automatici a guida libera seguono dei percorsi definiti mediante software, garantendo al sistema una buona flessibilità e adattamento alle diverse situazioni che si possono presentare in magazzino. L'utilizzo è consigliato prevalentemente per percorsi brevi, in cui la precisione è maggiormente elevata.

I veicoli a guida fissa invece non vengono programmati tramite un software ma seguono dei tragitti predisposti sulla base di un sistema a guida induttiva od ottica. Il primo può essere di due tipologie: monofrequenza, quando si ha un solo cavo alimentato da corrente a diversa intensità per distinguere i percorsi a disposizione, o multifrequenza, quando i cavi di alimentazione sono uno per ogni percorso. Il sistema a guida ottica, a differenza di quello a guida induttiva, prevede dei nastri catarifrangenti, solitamente collocati a terra, che guidano i carrelli nei loro tragitti e può essere a luce riflessa, quando funziona sulla base di raggi luminosi riflessi, a telecamera oppure a raggi laser, che puntando sull'ambiente circostante, individuano il posizionamento dei carrelli, definendo eventuali manovre correttive nel caso in cui la posizione non coincida con quella programmata (Monte, 2009). Tipicamente gli AGV vengono impiegati in magazzino per la movimentazione di pallet o di materiali e i settori di applicazione in cui vengono maggiormente utilizzati rientrano nell'ambito industriale e sono: tessile, alimentare, elettronico, sanitario e farmaceutico, automobilistico, cartai e aeronautico (Pareschi *et al.*, 2015). Questa tipologia di sistemi può essere utilizzata, ad esempio, per il trasporto della merce appena prelevata dagli scaffali in altre aree, come quella di preparazione degli ordini per i clienti o quella di spedizione. Altri possibili utilizzi sono lo stoccaggio dei materiali all'interno di magazzini tradizionali o il caricamento delle merci sui camion predisposti per la spedizione [13].

Sicuramente i sistemi AGV consentono di ottenere una serie di vantaggi, tra cui la possibilità di integrarli con altri impianti di movimentazione, la flessibilità nel gestire i trasporti e l'opportunità di spostare le merci anche lungo percorsi dotati di una certa complessità. Potrebbe dunque sorgere un problema legato alla sicurezza del personale. In presenza di sistemi AGV si vuole, infatti, evitare di ledere la sicurezza degli operatori e per questo motivo sono state previste delle normative che tutte le aziende devono rispettare. I dispositivi di sicurezza, che generalmente vengono installati sui carrelli AGV, prevedono infatti pulsanti di emergenza che gli operatori possono pigiare per fermare i carrelli, qualora ci sia la necessità, paraurti su cui sono installati dei sensori che bloccano i carrelli

se entrano in contatto con un ostacolo, ma anche segnalatori ottici e acustici che entrano in gioco in caso di pericolo (Monte, 2009).

Tra i sistemi di trasporto automatici, rientrano anche i robot industriali (Figura 13). I robot possono compiere diverse operazioni di movimentazione e trasporto e sono dotati di una struttura meccanica robusta, atta allo svolgimento di molteplici compiti. Essi sono costituiti da un braccio meccanico che permette di afferrare gli oggetti, assumendo una funzionalità simile a quella di un braccio umano. Sono ritenuti capaci di svolgere molteplici compiti con grande accuratezza. I settori principali in cui vengono impiegati sono: automotive, alimentare, beni di consumo, legname, plastica ed elettronico (Gautam et al., 2017).



Figura 13 - Robot industriale [14]

Molto spesso i robot vengono utilizzati per effettuare le operazioni di palletizzazione e depalletizzazione. La prima consiste nel disporre la merce al di sopra di pallet mentre la seconda è la procedura inversa. Essendo queste attività molto lunghe e faticose per gli operatori, lo svolgimento da parte di robot appare molto conveniente, poiché occupano uno spazio non eccessivo e sono in grado di occuparsi di diversi modelli di pallet e di prodotti (Padhy, 2017).

L'utilizzo di robot industriali conferisce maggiore sicurezza ai lavoratori perché in questo modo possono essere assegnati a mansioni meno gravose, ripetitive e pericolose. I robot

non vengono utilizzati solamente in magazzino ma anche in ambito produttivo, infatti, possono svolgere le operazioni di assemblaggio molto facilmente, con precisione e in tempi di gran lunga inferiori rispetto a quelli che servirebbero agli esseri umani. Questo garantisce una maggiore produttività, migliore qualità e una riduzione notevole degli errori umani [15].

Tra i robot figurano i cosiddetti robot collaborativi (Figura 14) che possono essere impiegati in magazzino per supportare i lavoratori nello svolgimento delle proprie mansioni, condividendone gli spazi, senza alcuna barriera protettiva. Questa tipologia di robot, chiamata anche CoBot, permette un miglioramento della produttività e delle condizioni di lavoro dell'operatore. Solitamente i robot collaborativi vengono utilizzati per lo svolgimento delle operazioni di pallettizzazione e depallettizzazione, per il prelievo delle merci ma anche in combinazione agli AGV, andandoli a montare sopra di essi (Atzeni *et al.*, 2021).

Le ridotte dimensioni, favoriscono il loro utilizzo e installazione in diversi contesti aziendali, infatti, vengono spesso impiegati anche in ambito produttivo, ad esempio per lo svolgimento delle operazioni di verniciatura e di assemblaggio. Ulteriori vantaggi riguardano gli aspetti economici; il costo dei robot collaborativi non è considerato eccessivo e il ritorno dell'investimento effettuato avviene in periodi di tempo che si aggirano attorno all'anno [16].



Figura 14 – Operatore di magazzino supportato nelle sue mansioni da un robot collaborativo [17]

1.2.3 Il picking automatizzato e le relative tecnologie di supporto

Come accennato nel capitolo 1.2, il prelievo delle merci, denominato anche picking, è una delle attività essenziali di magazzino e prevede la “rottura” delle unità di carico al fine di evadere gli ordini di lavorazione o di spedizione.

Il picking risulta essere l’attività maggiormente costosa all’interno del magazzino, tanto che in alcuni casi può raggiungere il 55%-65% dei costi operativi totali. Questa operazione, inoltre, appare piuttosto lunga a causa dei “tempi di viaggio” richiesti all’operatore per prelevare le merci dai rispettivi scaffali e questo rappresenta un possibile spreco che dovrebbe essere ridotto il più possibile, al fine di migliorare la produttività (Purba *et al.*, 2018).

In letteratura è stato dimostrato che l’introduzione di sistemi automatici per il picking può apportare miglioramenti al magazzino e per questo motivo verranno analizzati i principali sistemi che consentono un picking automatizzato e le diverse tecnologie di supporto.

Come accennato nel paragrafo precedente, i robot dotati di bracci possono essere utilizzati anche per il prelievo automatizzato delle merci dai rispettivi scaffali, in questo modo si assolve il picker dal compimento di questa operazione particolarmente faticosa e ripetitiva. Alcune aziende che si occupano della fabbricazione di sistemi automatici per il magazzino, hanno ideato una tipologia di robot mobili, rappresentati in Figura 15, capaci di muovere gli scaffali contenenti gli ordini richiesti, conducendoli verso gli operatori che manualmente si occuperanno della predisposizione di essi all’interno di imballaggi opportuni per la spedizione. Una volta che il picker ha prelevato le merci richieste, il robot mobile riporta lo scaffale al punto di partenza. I settori di applicazione sono molteplici e i più rilevanti sono: alimentare, e-commerce, elettronico e medico (Liang *et al.*, 2015). Questa tipologia di robot, denominati anche Autonomous Mobile Robots (AMRs), sono la generazione successiva agli AGV e possiedono alcune diversità rispetto ad essi che li rendono maggiormente flessibili e collaborativi ma anche più intelligenti ed efficienti (Bex *et al.*, 2021). A differenza degli AGV, gli AMRs possiedono un sistema di guida all’avanguardia perché sono dotati di mappe che vengono utilizzate per stabilire il percorso migliore da seguire, sulla base di ciò che viene rilevato con le telecamere e i sensori

installati su di essi, in questo modo, anche qualora incontrino un ostacolo, possono modificare la propria traiettoria e aggirarlo, conferendo maggiore efficienza e produttività al magazzino. Gli AMRs, inoltre, risultano essere molto più economici e più facili da integrare rispetto agli AGV perché richiedono meno modifiche a livello di impianto e tutto ciò impatta positivamente in termini di ritorno dell'investimento [18].



Figura 15 - Robot mobili [19]

Il picking può essere supportato da molteplici tecnologie che aiutano l'operatore nello svolgimento dei propri compiti.

La prima tecnologia che viene presa in considerazione è quella relativa all'introduzione di codici a barre apposti sulle merci di magazzino. I lettori di codici a barre (Figura 16) consentono al picker di scansionare tutte quelle informazioni inserite nel codice che verranno immediatamente inviate al software gestionale, garantendo una buona gestione delle merci di magazzino. Tuttavia questi strumenti possono salvare solo pochi dati relativi

al prodotto e funzionano grazie all'intervento umano, per cui possono rappresentare potenzialmente uno spreco in termini di tempo (Wang *et al.*, 2010).



Figura 16 - Lettore di codici a barre [20]

I sistemi Pick to Light (Figura 17) sono una tecnologia che permette al picker di comprendere, tramite un segnale luminoso, dove è localizzato l'ordine che deve prelevare e la quantità richiesta. Generalmente sono strumenti molto accurati che garantiscono velocità e produttività che sono rese ancora più evidenti qualora ci sia un'integrazione con il WMS che permette di ridurre i "tempi di viaggio" e di ricerca dei prodotti, incrementando quindi l'efficienza del magazzino (Dukić *et al.*, 2010).

I sistemi Put to Light, invece, sono dei sistemi complementari a quelli Pick to Light e danno all'operatore le indicazioni relative allo smistamento delle merci. L'introduzione di questi sistemi mira alla riduzione dei possibili errori umani. Il collegamento diretto di essi al software gestionale conduce ad una visione maggiormente completa di ciò che avviene nel magazzino [21].



Figura 17 - Sistema Pick to Light [21]

Un'altra tecnologia molto utile per il prelievo delle merci è il Voice Picking (Figura 18). Solitamente l'operatore viene attrezzato con un piccolo computer portatile e con auricolari dotati di microfono, per mezzo dei quali può comunicare. Questo strumento di supporto al picking ha come principale vantaggio quello di conferire libertà di movimento al picker (Dukić *et al.*, 2010).

Una volta svolto il prelievo, l'operatore potrà essere indirizzato, dal sistema vocale, verso la destinazione successiva, che cercherà di condurlo lungo il percorso più breve al fine di ottenere produttività ed efficienza. Questo sistema è molto semplice da utilizzare e permette di raggiungere un miglioramento sostanzioso dell'accuratezza con la quale vengono evasi gli ordini dei clienti, portandoli quindi ad avere una maggiore soddisfazione. Il Voice Picking, inoltre, conferisce una maggiore sicurezza agli operatori nello svolgimento dei propri compiti [22].



Figura 18 – Operatrice che utilizza il sistema di Voice Picking [23]

In Figura 19 viene rappresentato un sistema denominato Radio Frequency Identification (RFID) che permette di identificare automaticamente le informazioni relative alle merci in magazzino. Il primo componente di questi sistemi è il trasponder che si occupa della trasmissione di un segnale radio, dopo aver ricevuto un comando da una stazione, chiamata reader, che risulta essere il secondo elemento rilevante di questi sistemi. In questo modo, le informazioni vengono inviate direttamente ai sistemi gestionali che consentono di controllare l'inventario in tempo reale e si riducono notevolmente gli errori che possono compiere gli operatori nel registrare i prodotti nel sistema. Inoltre, gli RFID permettono di ottimizzare gli spazi occupati negli scaffali e si ottiene una riduzione delle movimentazioni e conseguentemente dei tempi, dal momento che non è necessario lo spostamento delle merci per l'identificazione. Tutti questi aspetti conducono ad una maggiore efficienza e qualità dei processi di magazzino, consentendo anche un prelievo delle merci velocizzato, poiché si conosce l'esatta localizzazione dei prodotti. L'aspetto maggiormente negativo di questi sistemi è la possibile violazione della privacy, dato che potrebbe verificarsi il rischio di RFID che rimangano attivi anche dopo che il prodotto è arrivato al cliente e questo comporterebbe un'illecita raccolta di dati personali. Inoltre, si è osservato che questi sistemi appaiono più costosi rispetto ai tradizionali codici a barre.

Nonostante i notevoli benefici, queste motivazioni frenano l'adozione da parte di alcune aziende, soprattutto per quelle che gestiscono merci di scarso valore e le etichette RFID, in confronto, presentano un investimento eccessivo (Amendola, 2011).



Figura 19 - Sistema RFID [24]

Nel corso degli ultimi anni, sono emersi dei sistemi di supporto all'attività di picking sempre più innovativi. Tra questi strumenti rientrano gli occhiali a realtà aumentata che permettono di mostrare all'operatore che li indossa, le informazioni relative al prodotto e all'ambiente che sta osservando (Figura 20). Questo consente di ottenere dettagli aggiuntivi rispetto a ciò che è visibile nella realtà. Gli occhiali a realtà aumentata conducono ad una maggiore efficienza nelle attività di picking perché possono segnalare all'operatore dove prelevare la merce e qual è il posizionamento migliore per il prodotto, permettendo quindi una maggiore operatività e velocità nello svolgimento delle proprie mansioni [25].



Figura 20 - Visione di un generico magazzino con gli occhiali a realtà aumentata [25]

Come si può osservare in Figura 21, ad oggi esistono anche dei dispositivi indossabili come braccialetti, dotati di display, per suggerire all'operatore alcune informazioni utili al picking che vengono inviate dal WMS. Tramite l'interazione con lo schermo, una volta effettuata l'operazione richiesta, il picker può inviare dei segnali di conferma. Spesso questi strumenti sono abbinati ad uno scanner ad anello che permette di scansionare velocemente i codici a barre. Questi dispositivi permettono sicuramente un incremento della produttività e una riduzione degli errori ma, a causa dei costi elevati per l'acquisto e la manutenzione successiva, sono ancora poco impiegati nei magazzini di imprese appartenenti al settore manifatturiero [25].



Figura 21 - Dispositivo indossabile collegato ad uno scanner ad anello [25]

In alcuni settori, una delle operazioni che può essere svolta nei magazzini è quella di sorting, attraverso la quale i sistemi di smistamento si occupano della conversione di flussi di prodotti di diverso tipo in ordini per la spedizione. I sistemi automatici impiegati per questa operazione sono denominati sorter (Figura 22) e prevedono un caricamento preliminare della merce su dispositivi denominati rastrelliere. In seguito all'ordine impartito al sistema, avviene il rilascio dei materiali richiesti su un convogliatore che indirizza i materiali verso il picker. Secondo degli studi effettuati, è emerso che i sistemi di sorting automatici risultano essere il 70% più efficienti rispetto a quelli manuali, nonostante gli investimenti richiesti risultino essere molto elevati. Questo implica che le piccole imprese abbiano maggiori difficoltà nell'implementare sistemi di questo tipo, nonostante i vantaggi riconosciuti che potrebbe ottenere (Sun *et al.*,2018).



Figura 22 – Sistema automatico di sorting [26]

1.2.4 I vantaggi e gli svantaggi dei sistemi automatici di magazzino

Secondo un recente sondaggio del 2020, i cui risultati sono stati riportati sulla rivista Forbes [27], si osserva un crescente interesse nei confronti dell'automazione di magazzino. Il 96% circa dei rispondenti, infatti, sostiene che nei successivi tre anni rispetto a quello di indagine, l'orientamento delle aziende sarà rivolto soprattutto alle tecnologie che permettono di automatizzare il magazzino piuttosto che alle tradizionali soluzioni manuali. Inoltre, circa l'80% degli intervistati ipotizza che ci sia anche un'effettiva disponibilità a pagare per i sistemi automatizzati, probabilmente alla luce dei benefici che possono apportare all'impresa.

I vantaggi maggiormente riconosciuti, relativi all'introduzione di sistemi automatici di magazzino all'interno dell'impresa, sono stati sintetizzati nella revisione della letteratura presentata nello studio di Varila e altri (2005). I ricercatori hanno osservato una riduzione dei costi del personale perché è necessario impiegare un minor numero di risorse umane e questo conduce ad un notevole risparmio in termini di costi. Generalmente, questa motivazione è quella che spinge maggiormente le imprese verso l'automazione di alcune operazioni. Inoltre, si ha la possibilità di stoccare in modo adeguato la merce all'interno degli spazi che si hanno a disposizione, con un conseguente miglioramento in termini di gestione e controllo. L'implementazione di sistemi automatici permette di svolgere le operazioni di magazzino in maniera più accurata e più velocemente rispetto ai sistemi tradizionali, contribuendo alla riduzione della merce danneggiata e alla realizzazione di prodotti di maggiore qualità per i clienti.

Con l'automazione si può constatare anche una diminuzione di possibili errori umani e di infortuni sul lavoro, comportando quindi una maggior sicurezza per il personale. Ciò conduce ad un incremento della produttività e ad una maggiore efficienza delle attività che vengono svolte (Garmash *et al.*, 2020).

I benefici attribuiti all'automazione possono anche condurre ad un miglioramento dell'immagine aziendale, anche se appare come un indicatore di performance più difficile da misurare, perché se i sistemi automatici di magazzino vengono implementati

correttamente, i suoi prodotti avranno una qualità tale che l'impresa verrà riconosciuta come un punto di riferimento sul mercato (Varila *et al.*, 2005).

L'automazione delle operazioni di magazzino potrebbe comportare anche alcuni aspetti negativi di cui bisogna tenere conto. In primo luogo sono richiesti ingenti investimenti per l'acquisto di sistemi automatici e una riprogettazione del layout di stabilimento, per riorganizzare gli spazi. Per questo motivo, è opportuno che la progettazione venga fatta tenendo conto non solo della situazione attuale ma anche di quella futura, cercando di prevedere la configurazione migliore, in modo da evitare possibili colli di bottiglia (Roodbergen e Vis, 2009).

Inoltre, si ha la necessità di effettuare periodicamente manutenzione ordinaria e straordinaria al fine di assicurarsi un impianto affidabile e altamente produttivo, per evitare fermi macchina che possono impattare pesantemente sulla reputazione aziendale. Tuttavia questo aspetto, conduce ad un incremento dei costi indiretti per l'impresa (Cotugno *et al.*, 2020).

Tra gli aspetti negativi potrebbe rientrare il problema dato dalla necessità di addestramento del personale che potrebbe mostrarsi restio nei confronti di qualcosa di nuovo, che non conosce, conducendo quindi i lavoratori verso una crescente insoddisfazione [28].

Quindi, tenendo conto dei vantaggi e degli svantaggi appena citati, è opportuno valutare attentamente quali sono gli obiettivi aziendali, quali sono i ritorni economici che si prospettano ed effettuare un'analisi costi-benefici che permetta di giungere alla soluzione migliore per il proprio magazzino.

2 Analisi della letteratura scientifica

Il capitolo in esame sarà dedicato all'analisi del Lean Manufacturing in un contesto che si discosta dall'ambito della produzione per cui era stato inizialmente pensato. L'obiettivo è quello di analizzare come il Lean possa essere implementato e quali benefici o svantaggi possa comportare quando viene applicato alle operazioni di magazzino.

L'area tematica rivolta all'indagine e all'eliminazione di sprechi esistenti all'interno del magazzino ha preso il nome di Lean Warehousing (Salhieh *et al.*, 2019).

Inoltre, nel corso degli anni, si è osservato che diverse attività di magazzino possono essere automatizzate per cui si è deciso di procedere con un'analisi della letteratura relativa al Lean Warehousing e all'automazione di magazzino per cercare di comprendere quali possano essere i benefici derivanti dall'impiego congiunto di questi due approcci. L'analisi verrà effettuata procedendo inizialmente con un primo paragrafo relativo alla metodologia impiegata per il riesame della letteratura. Successivamente si avrà uno studio degli articoli scientifici relativi al Lean Warehousing, seguito da un secondo studio riferito all'automazione di magazzino, a cui segue un paragrafo conclusivo dedicato all'esame della letteratura relativa all'uso congiunto di Lean e automazione applicate ai magazzini.

2.1 La metodologia impiegata per l'analisi della letteratura

Lo studio della letteratura è stato condotto raccogliendo un insieme di articoli scientifici inerenti alle tematiche del Lean Warehousing e dell'automazione di magazzino.

In primo luogo, si è resa necessaria l'identificazione di database contenenti una vasta gamma di pubblicazioni di carattere scientifico. Si è deciso di utilizzare principalmente Scopus, Google Scholar e ResearchGate che permettono di filtrare i risultati partendo da parole chiave. La quasi totalità degli articoli presenti è in lingua inglese per cui gli argomenti di trattazione tramite i quali è stata effettuata la ricerca sono stati: "Warehouse automation", "Lean Warehousing" ma anche "JIT", "Value Stream Map", "AGV", "RFID", "Warehouse VSM" e altri concetti inerenti all'automazione e al Lean Manufacturing.

Gli articoli consultati sono stati all'incirca 500, di questi molti non permettevano di approfondire pienamente i temi trattati, ricadevano in un ambito altamente tecnico che fuoriusciva dagli obiettivi del presente lavoro di tesi oppure rappresentavano delle duplicazioni a livello di contenuti. Altri ancora sono stati scartati perché ormai superati a livello scientifico. Per cui, per la trattazione dei paragrafi successivi, sono state prese in esame all'incirca 50 pubblicazioni, alcune presenti all'interno di riviste scientifiche mentre altre appartenenti alla categoria degli articoli di conferenza.

Gli articoli considerati ricadono in un arco temporale che va dal 1999 al 2021, ma la maggior parte delle ricerche sono state pubblicate negli ultimi 5 anni.

2.2 Il Lean Warehousing

Come riportato nel paragrafo 1.1.1, la filosofia Lean ha identificato sette sprechi, tipici del ciclo produttivo, che possono essere riadattati facilmente al contesto dei magazzini. La sovrapproduzione impatta anche su di essi, poiché realizzando un numero di prodotti superiore rispetto ai reali bisogni della domanda, si genera un'elevata utilizzazione degli spazi sugli scaffali che comporta degli ingenti costi e inefficienza. Anche i difetti che si generano durante il ciclo produttivo hanno delle pesanti ripercussioni sulle attività di magazzino, infatti conducono ad un aumento di possibili resi legati alla scarsa qualità dei prodotti. Inoltre, trasporti e movimentazioni non necessarie, che non aggiungono valore al prodotto, rappresentano uno spreco che può impattare fortemente sulle performance di magazzino. Gli sprechi legati ai tempi di attesa, che si vengono a generare quando si ha la necessità di aspettare materiali o informazioni per concludere un'operazione, e quelli legati alla presenza di processi inutili, che non forniscono valore aggiunto al cliente, possono anch'essi comportare degli scarsi indici di performance del magazzino (Buonamico *et al.*, 2017).

Secondo la letteratura, che ha esaminato molti casi di studio aziendali, il Lean Warehousing e i relativi strumenti hanno trovato applicazione in molteplici settori e si possono adattare facilmente ad imprese di dimensione differente, come si può osservare dai risultati conseguiti dai ricercatori.

Buonamico e altri (2017) hanno condotto un'analisi in un'impresa vinicola, dimostrando che l'implementazione di alcuni metodi del Lean Manufacturing produce effetti positivi sulla gestione del magazzino e sulle relative scorte. Le performance possono essere poi valutate tramite l'adozione di KPI ideali per controllare e gestire al meglio le attività nelle quali si è resa necessaria l'introduzione del JIT, l'eliminazione e l'orientamento verso gli zero difetti, il miglioramento continuo e gli strumenti 5S e la VSM, tipici della metodologia Lean. Questi KPI possono essere utilizzati per definire un indicatore globale che misura complessivamente le performance del magazzino che viene preso in esame, contribuendo quindi ad una migliore gestione e monitoraggio di esso.

Le 5S si sono rivelate molto utili anche nello studio di Ponikierska e Stefaniak (2017) relativo al magazzino di un'impresa che produce prodotti per l'illuminazione degli ambienti. L'azienda in esame aveva incontrato molteplici difficoltà nel gestire il proprio magazzino, essendoci stato un ampliamento del proprio business non adeguatamente accompagnato da una metodologia e da strumenti opportuni. Questa mancanza aveva portato ad un insieme di effetti negativi tra cui merce danneggiata, a causa delle continue movimentazioni e riallocazioni, spazi disorganizzati, costi eccessivi legati ad un'operazione di stoccaggio non eseguita al meglio e mansioni degli operatori non definite accuratamente. Il diagramma a lisca di pesce ha permesso di comprendere meglio le radici dei problemi esistenti e questo ha indotto i ricercatori ad introdurre le pratiche 5S.

In seguito all'implementazione di questa pratica, si sono osservati notevoli benefici tra cui un miglioramento delle condizioni di lavoro e della sicurezza del personale, una migliore gestione degli spazi di magazzino e una riduzione dei tempi di prelievo delle merci.

Bonilla-Ramirez e altri (2019) hanno riscontrato che nel settore della distribuzione di prodotti di massa, molte imprese hanno incontrato delle difficoltà nello stimare adeguatamente la domanda e nel gestire in modo opportuno le operazioni di magazzino e il relativo inventario. Questo ha condotto a dei risultati insoddisfacenti perché molto spesso i prodotti non erano della qualità desiderata e, di conseguenza, si è osservato un incremento delle richieste di reso che andavano a rappresentare una perdita per le aziende. Gli studiosi hanno ipotizzato che l'introduzione del Lean potesse portare a

notevoli benefici per le imprese appartenenti a questo settore e lo hanno dimostrato analizzando le operazioni logistiche di un'impresa mediante la VSM e, come si può osservare in Figura 23, questo ha consentito di identificare le criticità presenti. In particolare, è emerso che i prodotti non presentavano un'adeguata collocazione sugli scaffali e questo comportava che, quando arrivavano in magazzino, non si dava priorità in base alla corrispettiva data di scadenza. A causa della mancanza di un'adeguata logica di gestione dell'inventario, i tempi di picking avevano subito un incremento. Inoltre, la pianificazione della domanda non veniva fatta correttamente e di conseguenza si è reso necessario introdurre lo strumento 5S, fornito dal Lean Manufacturing, ma anche una logica First Expired First Out (FEFO) accompagnata da un nuovo modello predittivo, per gestire meglio il proprio inventario e garantire prodotti di maggior qualità. Il Lean Warehousing ha permesso di ridurre i tempi di picking, di migliorare la gestione delle scorte e di ridurre la percentuale di non conformità dei prodotti, comportando quindi una riduzione del numero di ordini per cui veniva richiesto il reso.

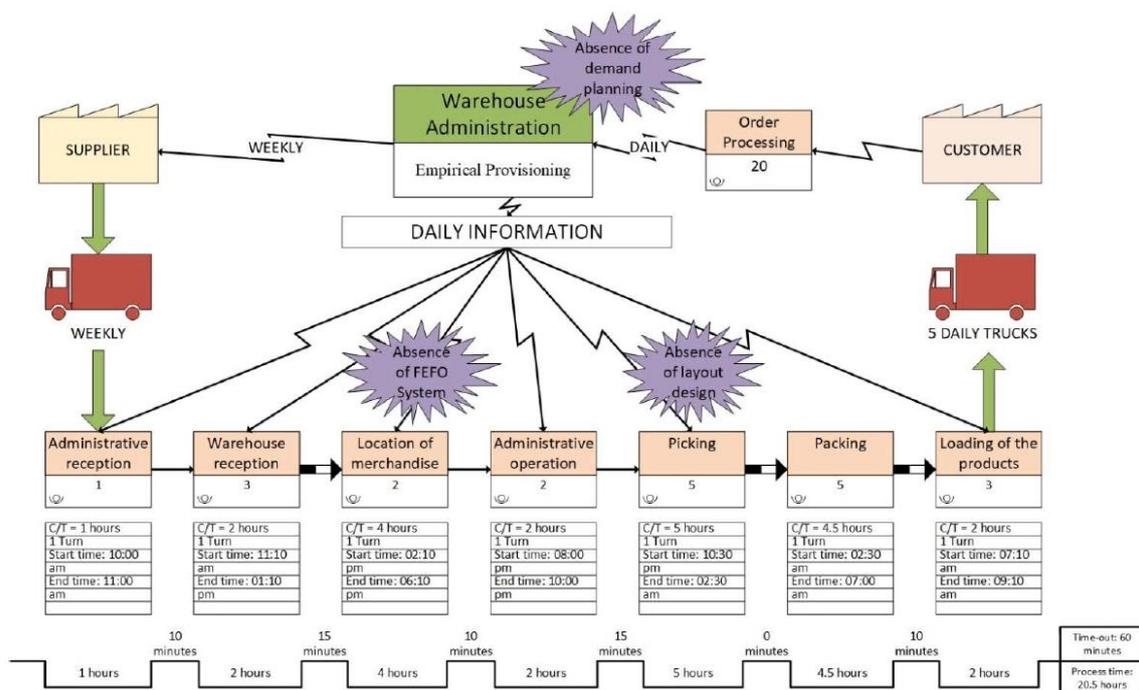


Figura 23 - VSM corrente di un'impresa appartenente al settore della distribuzione (Bonilla-Ramirez et al., 2019)

Come dimostrato da Prasetyawan e altri (2020), l'implementazione del Lean ha mostrato i suoi vantaggi anche in un'impresa che si occupa di imballaggi in ambito cosmetico. L'azienda aveva incontrato numerose difficoltà nell'ottimizzare gli spazi e le collocazioni delle merci nel magazzino, per cui si è ritenuto opportuno effettuare un'analisi delle relative operazioni per identificare in quali attività ci potessero essere alcuni sprechi. La Value Stream Map (VSM), andando a mappare il processo in esame, è lo strumento Lean che appare maggiormente indicato allo scopo ed è stato supportato da una root cause analysis, al fine di identificare la radice del problema esistente. L'analisi ha permesso di osservare che le operazioni di ricezione delle merci, put-away, immagazzinaggio e prelievo dei prodotti di magazzino incorporavano alcuni degli sprechi che, secondo la metodologia Lean, dovevano essere eliminati. Ad esempio, si è osservato che buona parte delle materie prime stoccate risultavano essere in eccesso rispetto all'effettiva domanda, comportando quindi un primo spreco legato alla sovrapproduzione. L'implementazione di uno degli strumenti Lean ha permesso invece di individuare e ridurre gli sprechi esistenti, conducendo ad un miglioramento dei processi di magazzino.

Ariffien e altri (2021) hanno analizzato anche le attività di magazzino di un'impresa appartenente al settore agricolo, in cui si è osservato che la gestione delle scorte appariva fortemente difficoltosa a causa delle elevate temperature che portavano i prodotti ad una facile deperibilità. Questo comportava ingenti perdite per l'azienda che doveva quindi adottare strumenti che facilitassero il controllo dell'inventario, il prelievo e l'imballaggio. Per questo motivo, si è provato ad implementare uno dei principali strumenti offerti dal Lean Manufacturing, ovvero la Value Stream Map (VSM). Questa analisi ha permesso di identificare tutte quelle attività che risultano essere non a valore aggiunto e che per questo dovevano essere eliminate, e quelle che invece dovevano essere promosse perché aggiungevano valore al processo, dimostrando quindi che il Lean applicato al magazzino permette di ottenere notevoli miglioramenti in termini di efficienza e di produttività.

Anche il settore automotive è stato coinvolto dall'implementazione del Lean Warehousing. Cagliano e altri (2018), ad esempio, hanno osservato che è possibile identificare gli sprechi presenti tramite lo strumento 5 Whys, provvedere mediante l'analisi 5S alla riduzione di

essi e rappresentare lo stato attuale delle operazioni di magazzino con il supporto della VSM. Dopo aver adottato tutti gli accorgimenti necessari per la riduzione e per l'eliminazione degli sprechi, si può procedere con la stesura della VSM futura. Questo approccio permette di constatare che si possono ottenere notevoli benefici, non solo in termini di tempo risparmiato nelle operazioni di ricezione della merce, put-away e picking, ma anche dal punto di vista economico, dal momento che si riesce ad ottenere una miglior gestione degli spazi e una conseguente riduzione dei costi totali che comportano quindi maggiori profitti per l'impresa.

Il settore automotive è stato analizzato anche da Andjelkovic e altri (2017), raccogliendo le opinioni di diversi dipendenti dell'impresa, mediante la somministrazione di questionari, per comprendere quali potessero essere i miglioramenti riscontrati a seguito dell'introduzione della metodologia Lean e dei suoi strumenti. Questo ha permesso di esaminare le percezioni di soggetti che rivestono differenti mansioni in ambito logistico, acquisti e produzione, che alcuni ricercatori ritengono tutti strettamente correlati con le operazioni di magazzino. Gli studi hanno permesso di evidenziare che, secondo i professionisti dell'impresa coinvolti, l'implementazione del Lean Warehousing ha condotto ad una migliore gestione di spazi e inventario, ad un minor numero di errori durante le operazioni di picking e ad una maggior sicurezza per gli operatori. Queste migliorie non fanno altro che portare benefici a tutta l'impresa, comportando quindi un incremento delle relative performance.

Come hanno avuto modo di constatare Sarifudin e altri (2018), molto spesso la letteratura ha percepito il magazzino come una fonte di sprechi che porta ad un incremento dei costi operativi delle imprese. Prendendo in esame un'altra impresa del settore automotive, gli autori hanno proceduto con una raccolta dei dati, realizzato una VSM, al fine di analizzare le attività di magazzino e i relativi sprechi esistenti, elaborando poi una Fault Tree Analysis (FTA) per comprendere, mediante una logica booleana, le combinazioni di attività necessarie da promuovere e quelle non a valore aggiunto che devono essere invece ridotte o eliminate per ridurre gli sprechi. In questo modo, l'impresa potrà conseguire un miglioramento in termini di performance e di competitività, ma secondo i ricercatori l'approccio del Lean Warehousing risulta essere valido per tutte le imprese appartenenti al settore automotive.

Purba e altri (2018) hanno osservato che tra le attività di magazzino, il picking risulta essere l'operazione maggiormente costosa e per questo deve essere svolta al meglio per evitare sprechi e perdite di produttività. Il Lean Manufacturing può essere un valido aiuto per migliorare l'attività di prelievo delle merci, come dimostrato dall'analisi di un'azienda operante nel settore automotive. La VSM ha consentito di identificare i flussi esistenti nel magazzino in esame e di individuare le criticità presenti nell'area di stoccaggio che impattavano direttamente sui tempi richiesti per il picking, infatti, non essendoci una chiara logica di allocazione delle merci diventava difficile per gli operatori prelevare i prodotti in tempi rapidi. Lo studio ha condotto alla necessità di allocare i prodotti sulla base della famiglia di appartenenza e per classe di prodotto e di istituire il picking a zone, assegnando quindi ciascun operatore ad una specifica area, al fine di ridurre i relativi tempi di viaggio. La ricerca ha dimostrato che i nuovi accorgimenti hanno consentito di migliorare la produttività dell'impresa. Le attività di magazzino dovrebbero, inoltre, essere riviste periodicamente utilizzando gli strumenti offerti dal Lean, in un'ottica di miglioramento continuo, al fine di saper rispondere in modo veloce ed efficace ai rapidi cambiamenti della domanda.

de la Cruz e altri (2020) hanno dimostrato che anche le performance delle imprese appartenenti al settore delle costruzioni possono essere migliorate grazie al contributo fornito dal Lean Manufacturing. In particolare, prendendo un'impresa del settore come caso di studio, sono state effettuate delle simulazioni, tramite un software, che mostrano i risultati che si potrebbero ottenere implementando il Lean e i suoi strumenti in magazzino. L'approccio potrebbe essere applicato all'operazione di picking perché appare la causa principale di ritardi nell'evasione degli ordini.

Il JIT, in particolare, contribuisce all'ottimizzazione delle operazioni di magazzino mentre le pratiche 5S possono essere applicate nell'ottica di una riduzione degli sprechi, al fine di aumentare la produttività e di ridurre l'inventario.

Il Kanban può essere introdotto per gestire al meglio gli ordini, evitando gli eccessi e quindi gli sprechi. L'ultimo accorgimento che potrebbe essere adottato è l'utilizzo dello strumento Heijunka che permette di definire una pianificazione delle attività da compiere, al fine di livellare gli ordini ricevuti, evitando quindi di avere dei picchi difficili da gestire.

Come si evince dalla Tabella 1, i benefici nell'impresa in esame sono stati chiari ed evidenti, in particolare la produttività è arrivata al 47% e si è riusciti a gestire la quasi totalità degli ordini ricevuti.

Outcome	Current situation	Simulation	Outcome	Current Situation	Simulation
Duration of operation	70.367 min	240.05 min	Productivity of the process	13.18%	47.07%
Staff use	74.63%	18.34%	Waiting Orders	3.52%	0%
Orders in processes	9 orders	0 orders			
Orders Served	60%	99%			

Tabella 1 - Risultati della simulazione delle operazioni di magazzino di un'impresa del settore delle costruzioni (de la Cruz et al., 2020)

In generale, il Lean applicato al settore manifatturiero nel suo complesso è stato analizzato da Harun e altri (2019) prendendo in rassegna i risultati ottenuti fino a quel momento dalla letteratura accademica. Secondo i dati raccolti, si è osservato che esiste una correlazione tra VSM, 5S e performance di magazzino, ovvero l'introduzione delle pratiche 5S e la VSM permettono di ottenere notevoli miglioramenti, in termini di performance, nelle imprese manifatturiere nelle quali vengono implementate, grazie ad una riduzione degli sprechi e ad una migliore gestione dei processi logistici.

Un'azienda del settore manifatturiero, in particolare, è stata analizzata da Baby e altri (2018) per migliorare la relativa gestione del magazzino che aveva mostrato difficoltà a causa di un'utilizzazione degli spazi non adeguata, uno stoccaggio senza alcuna chiara logica di gestione ed elevati tempi di picking. La VSM si è mostrata nuovamente idonea a comprendere queste criticità esistenti e gli sprechi associati. In particolare, si è osservato che il layout non era ben organizzato e questo causava ritardi nella registrazione dei materiali che arrivavano in magazzino e movimentazioni non necessarie per il prelievo delle merci. Adottando l'analisi di Pareto, per stoccare correttamente i prodotti, e spostando l'area di scanning vicino alla zona in cui venivano posti i materiali all'arrivo, si è avuta la possibilità di simulare, mediante un software, il nuovo magazzino così organizzato e di ottenere un miglioramento almeno del 40% di buona parte delle operazioni rispetto

alla soluzione esistente, a dimostrazione che la metodologia Lean risulta essere altamente efficace.

I benefici del Lean Warehousing sono stati analizzati anche da Salhieh e altri (2019) mediante la somministrazione di un questionario che ha coinvolto 160 professionisti appartenenti a 80 imprese diverse, dotate di un magazzino. Le attività interessate dall'indagine sono state la ricezione delle merci, il put-away, il picking e infine la spedizione dei prodotti ai clienti. Si è cercato di comprendere il punto di vista di manager e supervisori di magazzino rispetto a come i possibili sette sprechi, identificati dalla metodologia Lean, andassero ad impattare sulle performance di magazzino. Si è compreso che dei sette sprechi, secondo l'analisi qualitativa, solo quattro sono direttamente riconducibili al magazzino e compromettono le relative performance e sono: i tempi di attesa, la presenza di difetti, i trasporti non strettamente necessari e la sovrapproduzione. Questo ha permesso di dimostrare che anche dal punto di vista dei professionisti del settore manifatturiero, il Lean Warehousing può condurre ad una identificazione degli sprechi esistenti, al fine poi di ridurli o di eliminarli per migliorare le performance dell'impresa.

In definitiva, l'analisi della letteratura permette di constatare che l'implementazione del Lean Manufacturing e dei relativi strumenti consente di migliorare la gestione del magazzino, la qualità dei prodotti presenti e le prestazioni delle imprese manifatturiere in cui vengono adottati. I settori che sono stati analizzati hanno mostrato benefici simili, per cui si può rilevare che la filosofia Lean appare essere adeguata a molteplici ambiti di applicazione.

2.3 L'automazione di magazzino

In un mondo in cui la competizione raggiunge ormai livelli molto elevati, le aziende manifatturiere hanno la necessità di ottenere un vantaggio competitivo rispetto alla concorrenza, mostrandosi altamente performanti e con prodotti di buona qualità, in modo da soddisfare la domanda di mercato.

Molti studi presenti in letteratura hanno dimostrato che introdurre l'automazione all'interno di magazzini di imprese manifatturiere, conduce ad una maggiore produttività e porta ad un incremento delle performance aziendali.

Per comprendere meglio i vantaggi dati dall'automazione di magazzino, si possono analizzare gli studi condotti da Kudelska e Niedbał (2020), secondo i quali è possibile migliorare, ad esempio, l'operazione di picking, la più onerosa per il magazzino, introducendo soluzioni automatiche. Tramite alcuni modelli realizzati al simulatore e partendo dalla soluzione esistente, è stato possibile ottimizzare le combinazioni di macchinari e operatori che favoriscono la migliore gestione dell'impresa in esame, appartenente al settore logistico. La soluzione ottimale realizzata mediante il software di simulazione, riportata in Figura 24, mostra che la presenza di due stazioni di picking, due operatori e due robot permette un'agevole gestione delle operazioni di prelievo, alleggerendo la fatica dei lavoratori che riducono le proprie movimentazioni, rimanendo nelle proprie postazioni, grazie ai robot che si occupano del trasferimento dei prodotti. Il nuovo magazzino si è dimostrato molto più efficiente e produttivo, consentendo quindi una migliore gestione degli ordini.

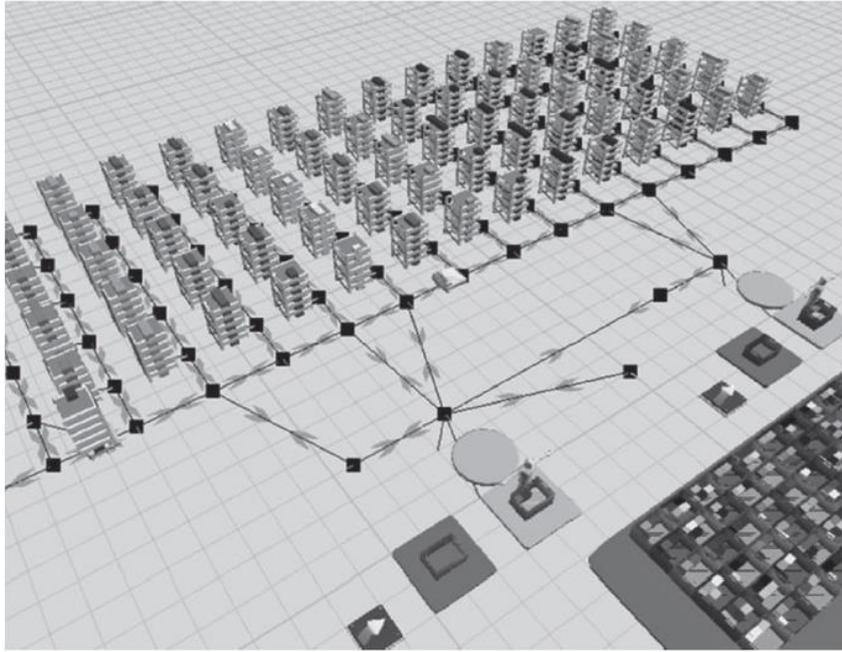


Figura 24 - Modello di magazzino realizzato al simulatore (Kudelska e Niedbat, 2020)

I robot, appena citati, dedicati al supporto dell'attività di picking sono denominati Robotic Mobile Fulfillment Systems (RMFSs) e sono stati analizzati anche nello studio di Hanson e altri (2018). In Figura 25 si riporta un'illustrazione del loro principio di funzionamento, secondo il quale gli RMFSs permettono di movimentare le merci, stoccate all'interno degli scaffali, verso le stazioni di picking, dove gli operatori potranno prelevare i prodotti necessari per comporre l'ordine. L'utilizzo di questi sistemi permette di ottenere maggiore flessibilità, in base alle fluttuazioni della domanda, un picking più accurato e veloce rispetto alla soluzione manuale, ma anche una maggiore produttività. Inoltre, dato che il sistema prevede la presenza di un certo numero di robot, qualora uno di essi risultasse guasto e necessitasse di manutenzione, è possibile isolarlo e continuare l'attività di picking. L'effetto negativo dei sistemi RMFSs è l'elevato costo richiesto per l'acquisto, ma l'ottima produttività a cui conducono, rispetto ai sistemi totalmente manuali, soprattutto in presenza di volumi medio-alti, può essere una valida motivazione per sostenere questo investimento.

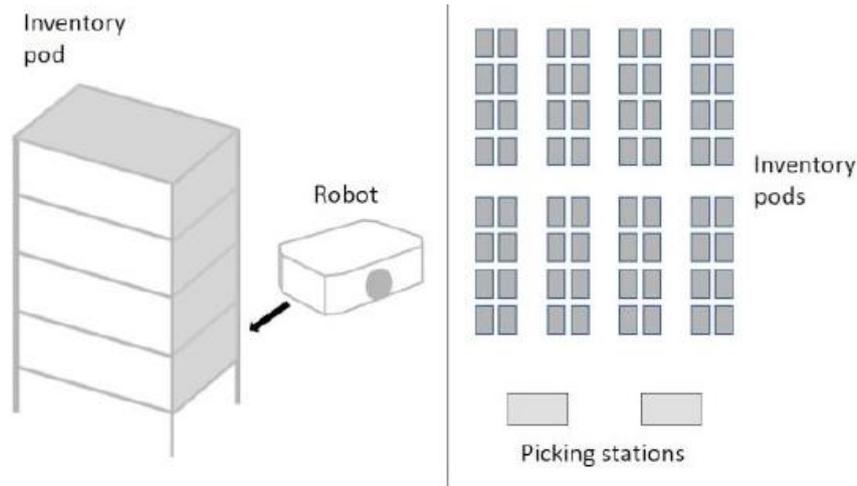


Figura 25 - Schema di funzionamento dei sistemi RMFS (Hanson et al., 2018)

L'orientamento verso soluzioni automatizzate per il picking emerge anche in altri studi, tra cui quello di Liang e altri (2015), perché si evince che il picking manuale può essere molto faticoso e tedioso per gli operatori, soprattutto nei magazzini di imprese che conservano e spediscono prodotti per l'e-commerce. La presenza di robot, capaci di riconoscere e di afferrare i materiali da prelevare, consente di ottenere un'efficienza superiore rispetto al picking manuale ed un notevole risparmio in termini di costi, poiché sono richiesti meno operatori per svolgere questa attività.

Causo e altri (2017) hanno rilevato che alcune soluzioni robotiche, in via di sperimentazione, sono inoltre capaci di prelevare e trasportare le merci, analizzando la lista di ordini richiesti, memorizzata nei sistemi gestionali aziendali che raccolgono tutte le informazioni relative ai prodotti presenti in magazzino, tra cui la localizzazione sugli scaffali. I robot proposti appartengono alla categoria dei robot mobili perché sono capaci di muoversi in autonomia tra gli scaffali, ma sono anche dotati di un braccio meccanico, capace di afferrare gli oggetti. Questi ultimi possono elaborare una pianificazione dei cammini più brevi da seguire per effettuare il picking, utilizzando sensori che permettono di individuare la sequenza migliore per il prelievo e ciò può apportare netti miglioramenti nell'evasione degli ordini per i clienti, rendendo le operazioni di magazzino dell'impresa molto più veloci, efficienti e performanti.

Secondo lo studio di Pinkam e altri (2016) i robot che si occupano dell'operazione di picking, per di più, possono essere programmati mediante l'implementazione

dell'algoritmo di Manhattan e di quello di Dijkstra. Il primo rappresenta un'ottima approssimazione per identificare quali sono i prodotti da prelevare più vicini al robot mentre il secondo consente di minimizzare lo spazio percorso, evitando i possibili ostacoli presenti lungo il tragitto. Alcuni esperimenti hanno dimostrato che la presenza di robot capaci di raccogliere prodotti per diverse stazioni di picking risulta essere più efficiente rispetto alla presenza di robot addetti al trasporto di materiali per un'unica stazione perché gli algoritmi implementati producono ottimi benefici in termini di riduzione dei tempi di viaggio.

Inoltre, Lee e altri (2018) hanno constatato che l'attività compiuta dai picker può impattare anche sulla postura, con conseguenti disturbi ad essa associati. Lo studio ha mostrato i risultati di un'analisi dei rischi condotta su alcuni lavoratori nello svolgimento di questa mansione mediante la scala valutativa RULA, utilizzata proprio per individuare i livelli di rischio per la postura dei lavoratori, durante lo svolgimento dei propri compiti. Questo ha permesso di rilevare che alcuni movimenti, soprattutto se protratti per lunghi periodi di tempo, possono causare danni per la salute dei lavoratori. I robot collaborativi possono aiutare i lavoratori nello svolgimento delle loro mansioni, riducendo la ripetitività e la fatica e rendendo più semplice e veloce l'operazione di picking in magazzino.

Come osservato da Inam e altri (2018), la presenza dei robot mette però in luce una problematica legata all'incolumità dei lavoratori, in particolare quando si adottano robot collaborativi che condividono gli stessi spazi con gli operatori, senza barriere di contenimento. Queste tipologie di robot sicuramente conducono a notevoli vantaggi in termini di produttività e performance ma devono essere gestiti adeguatamente per evitare possibili collisioni o incidenti. Gli autori propongono di adottare dei livelli di guardia, in base al rischio percepito dagli operatori in determinate situazioni, per esempio riducendo la velocità oppure la forza dei robot in prossimità di un lavoratore, per evitare che emergano problemi per la sua sicurezza. In questo modo, si cerca di limitare il più possibile le problematiche che si possono generare, favorendo invece gli aspetti positivi della collaborazione tra uomo e macchina.

Berx e altri (2021) hanno avuto modo di osservare che i risultati ottenuti fino a questo momento in letteratura, dimostrano che gli operatori di magazzino sembrano essere predisposti verso la collaborazione con i robot mobili per l'esecuzione dell'attività di

picking, perché percepiscono una riduzione della ripetitività del lavoro, minore pressione e fatica cognitiva e ciò favorisce una maggiore soddisfazione per lo svolgimento delle proprie mansioni. Ciò risulta essere più evidente per gli operatori che lavorano già con i robot piuttosto che per i lavoratori che svolgono le proprie attività manualmente. Per di più, sembra che non ci sia una diffusa percezione di pericolo e di perdita del lavoro dovuta alla presenza dei robot.

Inoltre, secondo gli studi di Cotugno e altri (2020), i robot collaborativi evitano che ci sia un totale rimpiazzo dei lavoratori e, rispetto ai sistemi completamente automatizzati, richiedono costi inferiori e una manutenzione più semplice da eseguire. L'introduzione di robot collaborativi, per di più, potrebbe favorire l'accrescimento di nuove figure professionali in magazzino, per esempio si potrebbe rivelare molto utile un professionista addetto alla calibrazione e all'impartizione di istruzioni per il corretto funzionamento del robot. Secondo i ricercatori, la scienza si focalizza quindi sulla creazione di prototipi, facenti uso di intelligenza artificiale, che siano sempre più adatti alla collaborazione con gli operatori, in modo da agevolarli nello svolgimento delle loro mansioni. Occorre però che gli addetti al magazzino vengano adeguatamente formati sull'utilizzo dei robot e, in futuro, bisognerà concentrare gli studi sull'adozione di un linguaggio che favorisca la completa comunicazione tra gli operatori e i robot collaborativi.

L'automazione di magazzino ha trovato applicazione in diversi settori, tra cui quello del tabacco, mostrando nuovamente i suoi notevoli benefici. Wang e Higgs (2017), nel loro studio, hanno preso in esame un'impresa del settore, in cui si è resa necessaria l'introduzione di un magazzino ad alta densità, che faciliti l'immagazzinaggio ottimale di un grande quantitativo di merci nello spazio a disposizione, andando a mettere in atto un sistema di integrazione capace di collegare l'operazione di stoccaggio con gli altri processi logistici. L'integrazione consente di avere un maggiore controllo sull'inventario e una migliore efficienza del sistema di sorting, necessario per lo smistamento delle sigarette. Ogni area di lavoro è stata adibita con le attrezzature e i sistemi automatici di magazzino più adeguati per ottimizzare le performance dell'impresa in esame. Lo studio pone, inoltre, l'accento sulla minore necessità di personale che si traduce in costi inferiori e rende quindi

l'impresa maggiormente competitiva, conducendo ad un'evasione degli ordini molto più veloce ed accurata.

Secondo Bao e altri (2017), l'automazione però deve essere implementata nel modo corretto, altrimenti si rischia di avere un sistema che in presenza di picchi può incontrare difficoltà. Qualora i magazzini automatizzati non siano stati implementati correttamente, un buon modo per analizzare le cause relative agli scarsi risultati conseguiti può essere, in un primo momento, l'adozione del diagramma di Pareto, per analizzare l'uso corrente che viene fatto del magazzino, seguito da una Fault Tree Analysis, per comprendere i fattori chiave che possono pregiudicare il raggiungimento di buone performance. In questo modo, secondo i ricercatori, si può intervenire tempestivamente, ottimizzando ad esempio gli spazi in cui avviene lo stoccaggio, in modo da portare i sistemi automatici di magazzino nella condizione di utilizzo che permette di offrire all'impresa vantaggi e benefici.

Wu e Huang (2018) hanno osservato che in alcuni settori, come quello del trasporto marittimo, possono esserci ulteriori problematiche, come la maggiore probabilità di subire furti della merce, poiché questa viene stoccata in magazzini portuali senza un buon sistema di sorveglianza. Inoltre, è stato dimostrato che molto spesso la merce in ingresso non viene controllata in maniera adeguata dagli operatori, per cui non si ha piena conoscenza di tutti i carichi alla rinfusa in arrivo. La tecnologia RFID può essere molto utile per identificare i prodotti in ingresso e quelli in uscita perché consente di memorizzare in un sistema gestionale tutte le merci che arrivano, innalzando quindi il livello informativo e l'efficienza, dal momento che si riducono i possibili errori di registrazione da parte degli operatori. Questi sistemi favoriscono inoltre un monitoraggio in tempo reale, diminuendo non solo i rischi legati ad eventuali furti della merce immagazzinata, ma anche i costi operativi perché si riduce la necessità di personale.

Secondo lo studio di Wang e altri (2010), gli RFID possono essere utilizzati anche in altri settori, come quello del commercio online, che richiede rapidità di risposta agli ordini dei clienti. Il solo intervento manuale, infatti, può avere impatti negativi sui tempi di risposta, dato che gli operatori molto spesso commettono errori nella registrazione delle merci in magazzino o nel prelievo e hanno un costo elevato. La presenza di RFID permette di

superare queste problematiche e di condurre ad un migliore operato per l'impresa, anche se queste tipologie di sistemi sono mediamente il 15% più costose rispetto ai lettori di codici a barre. Bisogna quindi effettuare un trade-off per comprendere meglio quale soluzione sia maggiormente adatta per il magazzino in esame.

Come discusso nel paragrafo 1.2.2, tra i sistemi di trasporto che si possono trovare all'interno dei magazzini, figurano gli Automatic Guided Vehicles (AGV).

Gli AGV molto spesso si sono dimostrati efficienti ma secondo lo studio di Oleari e altri (2014) ci sono alcune problematiche che possono emergere. In particolare, l'installazione di questi sistemi appare solitamente onerosa in termini di tempo e, in alcuni casi, potrebbe essere richiesto di riprogettare il layout di magazzino. Inoltre, l'efficienza potrebbe essere compromessa qualora si verificano colli di bottiglia che possono pregiudicare il conseguimento di buone performance. In alcuni casi, può presentarsi anche un problema di sicurezza per gli operatori che condividono spazi con i veicoli a guida automatica perché solitamente i sensori di cui sono dotati non permettono di distinguere tra le diverse tipologie di ostacolo.

Un altro svantaggio legato agli AGV è l'eccessivo costo che può frenare l'adozione da parte delle imprese manifatturiere. È stato stimato da Tamara e altri (2018) che gli AGV, a seconda delle funzionalità e del carico trasportabile, possono avere un costo che si aggira tra i 20.000 \$ e gli 80.000 \$. Per superare questa difficoltà, i ricercatori hanno proposto AGV che presentano componenti meno costosi rispetto alle soluzioni esistenti, ma che rispettano comunque gli standard previsti dalla legge. Il minor costo potrebbe indurre a pensare che siano di minor qualità e per questo motivo gli studiosi si propongono di effettuare nuovi studi, in futuro, per valutare la stabilità e la durabilità di questi sistemi a guida automatica, per le attività di trasporto all'interno dei magazzini.

Nel corso degli ultimi anni, si sta cercando di trovare soluzioni sempre più all'avanguardia per la gestione dei magazzini. Secondo Ridolfi e altri (2019), l'automazione infatti si può ottenere non solo introducendo veicoli a guida automatica (AGV) ma anche tramite l'utilizzo di droni, dotati di sensori che permettono un'ingente raccolta di immagini e video.

La presenza di droni, infatti, può favorire il controllo delle merci di magazzino, il rapido rilievo di potenziali pericoli e la supervisione dei diversi processi esistenti.

Mourtzis e altri (2019) sostengono inoltre che la realtà aumentata può essere considerata un altro valido aiuto per migliorare la gestione del magazzino. Nei loro studi hanno introdotto i QR code sugli scaffali e sui prodotti che devono essere immagazzinati per consentire di registrare, mediante un'applicazione mobile, tutte le merci che entrano ed escono. Come si evince dalla Figura 26, l'applicazione può consentire di visualizzare la situazione corrente dei materiali presenti in magazzino, identificare dove è localizzato un certo prodotto e registrarne uno nuovo. Nel caso in cui ci sia la necessità di registrare un nuovo prodotto, l'operatore dovrà inquadrare il relativo QR code e, successivamente, quello dello scaffale, in modo da registrarlo nel sistema aziendale. Qualora, invece, il lavoratore sia stato incaricato di prelevare un prodotto dagli scaffali, utilizzando la geolocalizzazione, potrà essere guidato verso la merce richiesta.

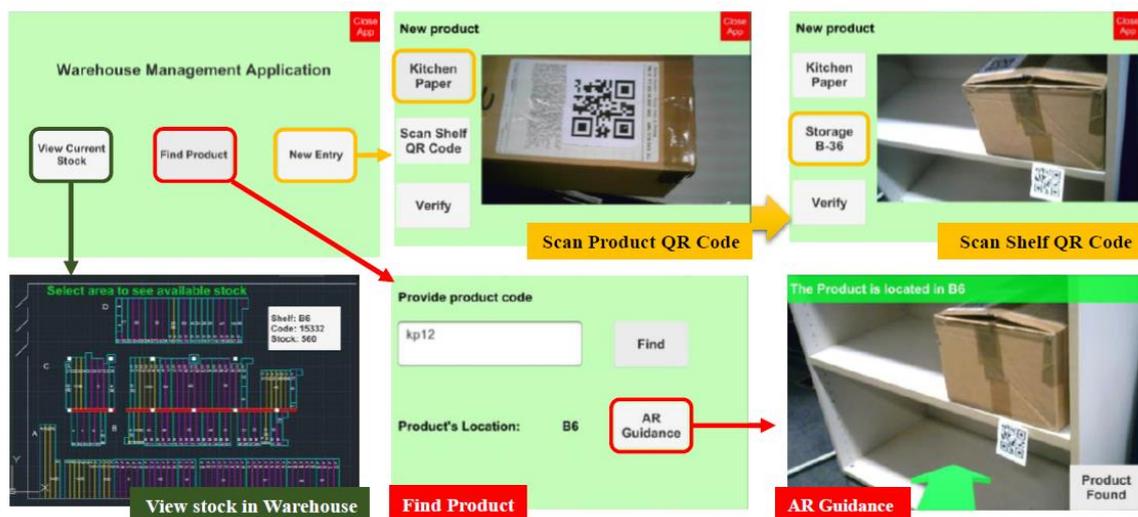


Figura 26 - Interfaccia di un'applicazione mobile per un'impresa appartenente al settore della fabbricazione della carta (Mourtzis et al., 2019)

Nonostante gli ottimi risultati riscontrati in letteratura rispetto all'implementazione di sistemi automatici di magazzino nelle aziende manifatturiere, alcuni studi hanno dimostrato che molte imprese non percepiscono in maniera positiva l'automazione di magazzino. Lo studio realizzato da Škerlič e altri (2017) in Slovenia ha raccolto le opinioni

di professionisti, operanti all'interno di aziende fornitrici del settore automotive. Si è effettuata una valutazione delle loro percezioni relativamente alle attrezzature logistiche tradizionali, alle nuove soluzioni di magazzino, come ad esempio RFID, AGV oppure WMS, alla sicurezza per gli operatori, in presenza di nuove tecnologie, e alla gestione degli errori che possono occorrere. Ciò che si è osservato nel campione di aziende selezionate è stato che circa il 60% di esse non rileva i benefici dati dalle moderne soluzioni di magazzino, nonostante laddove sono state utilizzate si sono dimostrate sicure e affidabili. Secondo gli autori di questo studio, ciò può essere dovuto ad una scarsa formazione del personale verso i sistemi automatizzati, quindi facendo leva su questo aspetto si potrebbe avere un miglioramento nella percezione dell'automazione di magazzino.

Si ha modo di osservare che in base agli articoli scientifici analizzati, l'automazione può favorire l'efficienza e la produttività delle operazioni di magazzino, ma anche supportare i lavoratori nelle loro mansioni, sgravandoli da quelle più faticose. I sistemi automatici di magazzino sembrano apportare benefici in tutti i settori analizzati, ma devono essere implementati nella maniera corretta per evitare che emergano possibili criticità in presenza di picchi di domanda. Laddove le aziende non percepiscono ancora l'automazione come un valido aiuto per il conseguimento di buone performance di magazzino, i ricercatori suggeriscono di formare il personale addetto su questa tematica, al fine di assicurare una corretta implementazione dell'automazione non solo a livello di sistema ma anche in termini di risorse umane.

2.4 L'applicazione congiunta di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è comprendere il rapporto tra Lean Manufacturing e automazione applicati ai magazzini di imprese manifatturiere appartenenti a diversi settori, valutandone i possibili vantaggi e svantaggi.

Per questo motivo, nel presente paragrafo, si andrà ad analizzare come la letteratura degli ultimi anni ha trattato il tema dell'applicazione congiunta della filosofia Lean e dell'automazione ai magazzini.

A livello generale, molto spesso le operazioni di magazzino si sono mostrate poco efficienti a causa di possibili colli di bottiglia che si sono venuti a creare in seguito ad una gestione delle attività prettamente manuale e con il solo supporto di una documentazione cartacea. Gunasekaran e altri (1999) hanno dimostrato che l'utilizzo di software per l'implementazione di sistemi informativi in magazzino, permette di raccogliere le informazioni sulla merce in maniera molto più accurata rispetto alla gestione manuale. Questo modo di procedere conduce ad una migliore utilizzazione degli spazi sugli scaffali, ad una riduzione del costo del lavoro, ad un'ottimizzazione delle operazioni di picking e ad un migliore ritorno dell'investimento. Il supporto del JIT non può che migliorare l'efficienza delle attività di magazzino perché aiuta a schedularle, riducendo i tempi di processo, ma favorisce anche una migliore gestione dell'inventario.

In letteratura, si sono osservati molteplici casi pratici di Lean Manufacturing e di automazione applicati in maniera congiunta ai magazzini di imprese appartenenti al settore manifatturiero. Si dettagliano di seguito i più significativi.

Uno dei settori in cui i due approcci hanno trovato applicazione è quello agroalimentare che è stato analizzato nello studio di Hmidach e altri (2020). Il Lean Warehousing dimostra la sua utilità per andare a rintracciare tutte quelle attività che non risultano essere a valore aggiunto e per questo devono essere ridotte o eliminate perché rappresentano uno spreco. Il primo strumento adatto per raggiungere questo obiettivo è la VSM, seguita dal diagramma di Ishikawa per identificare le cause che conducono a scarse performance. Ciò

permette di comprendere quali sistemi automatici risultano essere maggiormente adeguati al magazzino e di testarli, tramite software di simulazione, al fine di comprendere la combinazione ottimale di soluzioni. Questo porta poi alla creazione della VSM futura, di cui è possibile analizzare i risultati. Si dimostra che l'utilizzo di questi approcci permette di ottenere un notevole risparmio in termini di tempi e costi, un'ottimizzazione degli spazi, ma anche una riduzione della fatica e degli infortuni che possono capitare ai lavoratori, contribuendo quindi ad un accrescimento del livello di sicurezza.

Anche nello studio di Bashir e altri (2020) la VSM si è rivelata molto utile per identificare gli sprechi con un'applicazione che ha interessato il magazzino di un ipermercato, in cui sono stoccati sia prodotti alimentari che di altro genere. Lo strumento Lean conduce all'individuazione delle attività non a valore aggiunto che spingono all'adozione di migliorie. Tra le operazioni maggiormente dispendiose, in termini di tempo e di costo, si ha la valutazione qualitativa e quantitativa di prodotti che devono essere prelevati e poi spediti. Ciò conduce gli operatori ad un'ispezione degli scaffali alla ricerca dei prodotti che sono stati richiesti dai clienti. Questo modo di procedere comporta un allungamento del processo di spedizione della merce, perciò l'adozione di codici a barre o di sistemi RFID può fornire un valido contributo, dal momento che tutte le informazioni relative ai prodotti, tra cui l'allocazione sugli scaffali, vengono memorizzate nei sistemi informativi aziendali, rendendo la gestione delle attività di magazzino molto più veloce e agevole.

L'analisi degli sprechi tramite VSM è stata applicata da Patitad e Watanabe (2020) anche nel settore della distribuzione dello zucchero. In un ambito come quello in esame bisogna immagazzinare e conservare correttamente il prodotto perché lo zucchero viene raccolto e processato solo per quattro mesi l'anno mentre, nel periodo rimanente, giace in magazzino, fino al momento in cui arriva l'ordine da parte del cliente. L'automazione potrebbe rivelarsi molto utile perché i sacchi di zucchero sono molto pesanti, quindi l'adozione di robot industriali può essere un valido supporto per gli operatori, favorendo un notevole risparmio in termini di tempo e di risorse. I possibili errori nella misurazione di prodotto da prelevare, invece, potrebbero essere superati introducendo, ad esempio, i silos a tramoggia che sono contenitori adatti per lo stoccaggio e il rilascio dello zucchero

in modo automatico. Questi accorgimenti non fanno altro che migliorare l'efficienza dell'intero processo e le relative performance dell'impresa.

Guo (2018) ha dimostrato, inoltre, che anche i centri di distribuzione di altri prodotti alimentari, come il pane, possono essere soggetti a sprechi e colli di bottiglia, individuabili facilmente con la VSM. Le cause di inefficienza possono essere ricondotte ai tempi di attesa estremamente lunghi per le operazioni di picking e di sorting ma anche per una pianificazione non opportuna dei percorsi che i carrelli elevatori devono percorrere. L'introduzione di Poka-Yoke, Kanban e di sistemi RFID può permettere una migliore gestione dell'inventario, ridurre l'apporto umano e i relativi costi e le attività che non appaiono a valore aggiunto. L'utilizzo di questi strumenti può essere integrata nella Future State Map che dovrà essere rivista periodicamente, in un'ottica di miglioramento continuo.

Lo studio di Chen e altri (2013) ha confermato che l'utilizzo congiunto di Lean e RFID apporta benefici nei centri di distribuzione. L'introduzione della sola filosofia Lean pone già il magazzino dell'impresa in una condizione di maggiore efficienza, ma l'applicazione contemporanea di sistemi RFID, che comportano una trasmissione istantanea dei dati relativi ai prodotti immagazzinati e spediti al Warehouse Management System (WMS), riduce ulteriormente i tempi necessari per lo svolgimento di queste operazioni.

L'applicazione di Lean Manufacturing e automazione ha mostrato i suoi vantaggi anche nei magazzini di imprese appartenenti al settore farmaceutico. Anche in questo settore Abideen e Binti Mohamad (2019) hanno osservato che è utile analizzare la situazione corrente mediante la VSM, partendo inizialmente con una valutazione dei flussi esistenti mediante lo Spaghetti Chart. Avere un magazzino in cui manca la logica del JIT e del Kanban, può portare alla creazione di scorte in eccesso che rappresentano un costo aggiuntivo che si potrebbe evitare. Un altro strumento offerto dalla filosofia Lean è l'analisi 5 Whys che permette di identificare le principali fonti di problemi che possono occorrere. Gli strumenti Lean possono essere visti quindi come dei prerequisiti essenziali per comprendere i problemi esistenti perché forniscono le basi per procedere con una conseguente rimozione degli sprechi, al fine di proporre una soluzione che si dimostri

efficiente, come l'adozione di AGV e di RFID che favoriscono le operazioni di stoccaggio e di trasporto all'interno del magazzino.

L'identificazione di sprechi mediante la VSM si è dimostrata efficiente anche nel caso di studio condotto da Dotoli e altri (2013), all'interno del magazzino di un'impresa italiana che produce oggetti di design per gli interni. La successiva introduzione di un Warehouse Management System (WMS) consente di tenere traccia di tutte quelle informazioni rilevanti relative ai prodotti presenti e permette all'azienda di ridurre gli errori degli operatori durante la registrazione e il prelievo dei materiali, di rendere più accurate le operazioni di magazzino e di ottimizzare lo stoccaggio delle merci.

L'individuazione delle attività non a valore aggiunto è un prerequisito essenziale per migliorare le operazioni di magazzino anche in altri settori, come si può constatare dallo studio condotto da Torres e Young (2020), che ha coinvolto un'impresa filippina appartenente al settore delle calzature. Dopo aver identificato gli sprechi esistenti, è possibile utilizzare alcuni strumenti che favoriscano l'automazione di magazzino, come l'utilizzo di un'applicazione mobile per registrare, tramite QR code, i prodotti in entrata e in uscita, in modo da memorizzarli direttamente nel sistema ERP aziendale. I vantaggi sono una prevenzione di possibili errori commessi nella registrazione da parte degli operatori, una conseguente riduzione dei costi, perché si ha la necessità di un minor numero di lavoratori addetti al controllo, ma anche un miglioramento dell'efficienza complessiva e della produttività del magazzino.

Come osservato da Akkari e Valamede (2020), ad oggi, il settore manifatturiero sta evolvendo sempre di più verso le nuove tecnologie, tanto che si parla di "Quarta Rivoluzione Industriale" o di Industria 4.0. Ciò si è reso necessario per realizzare prodotti di qualità superiore ma anche per andare incontro ad una riduzione dei costi operativi che può essere difficile da raggiungere a causa di rapide fluttuazioni della domanda e di un complicato soddisfacimento di diverse tipologie di bisogni da parte della clientela, dovuti alla necessità di prodotti sempre più personalizzati. I sistemi automatici di magazzino si annoverano all'interno delle tecnologie 4.0 e sono complementari ai diversi strumenti

offerti dal Lean Manufacturing, tanto che si parla di Lean 4.0. Secondo i due studiosi, l'esistenza di AGV all'interno del magazzino permette di supportare il principio Lean del JIT perché si riducono gli errori umani, si favorisce una logistica automatizzata e si ha una maggiore flessibilità rispetto ad eventuali cambiamenti produttivi. Si può constatare che anche il Kanban viene supportato perché con i veicoli a guida automatica, i magazzini diventano più snelli e migliora il flusso di materiali, oltre che l'allocazione dei prodotti sugli scaffali. Lo strumento Lean denominato Poka-Yoke viene anch'esso favorito perché gli AGV sono in grado di correggere rapidamente eventuali irregolarità inviando ai sistemi informatici aziendali le problematiche riscontrate, in modo tale che vengano prontamente verificate e risolte.

Secondo quanto riportato da Tissir e altri (2020), l'automazione in ambito logistico si è rivelata molto utile anche nel contesto pandemico, generata dalla diffusione dell'infezione da Covid-19. La circolazione del virus, infatti, rende il contesto lavorativo difficoltoso perché bisogna mettere in atto un insieme di misure che favoriscano il distanziamento sociale, al fine di evitare la propagazione del virus stesso. Le imprese che hanno a disposizione i robot, possono continuare a svolgere le proprie attività perché questi sistemi di trasporto, per le mansioni maggiormente ripetitive e automatizzabili, possono sostituire gli operatori. Tuttavia, gli studiosi hanno constatato che l'utilizzo del Lean Manufacturing non si dimostra altrettanto efficiente in un contesto di questo tipo. Ad esempio, l'utilizzo del JIT, in ambito produttivo e logistico, mira ad un livello minimo di materiali stoccati che potrebbero però condurre ad inefficienza in caso di forti fluttuazioni della domanda, come accaduto in alcuni settori. In queste situazioni limite, avere a disposizione un certo quantitativo di materiali prodotti e stoccati non deve essere visto come una fonte di spreco ma come un buon modo di premunirsi al fine di reagire meglio ad eventuali squilibri della domanda.

Zhongyuan e altri (2020) hanno proposto soluzioni alternative al JIT perché hanno riscontrato che, nonostante ci siano benefici riconosciuti, come la riduzione dei costi e un incremento dell'efficienza, in alcuni casi possono emergere svantaggi come la necessità di avere magazzini molto vicini alle linee produttive per fronteggiare la scarsa giacenza. Inoltre, in alcuni studi, si è dimostrato che le aziende con un basso numero di scorte hanno

raggiunto performance non ottimali, rispetto ad imprese che invece avevano più materiali stoccati. Nel corso degli ultimi anni, molte aziende si sono rivolte verso l'automazione di magazzino ma anche in questo caso ci possono essere alcune difficoltà nel determinare il livello ottimale di automazione. Una possibile soluzione è adottare la filosofia Zero-Warehousing Smart Manufacturing (ZWSM) che si focalizza sulla riduzione delle attività che non aggiungono valore ma prevedendo comunque l'inventario per facilitare la gestione delle operazioni di magazzino, essendoci una forte incertezza sulla domanda.

2.5 Research Gap

La letteratura permette di affermare che le aziende in cui il Lean Manufacturing e l'automazione sono stati applicati congiuntamente al magazzino hanno ottenuto generalmente buoni risultati, indipendentemente dal settore di riferimento. Tuttavia, è necessario constatare che non tutte le imprese possiedono lo stesso livello di automazione o di implementazione della filosofia Lean e molto spesso manca un'adeguata formazione dei lavoratori verso queste tematiche. Di conseguenza, è fondamentale comprendere quale sia il grado di automazione e gli strumenti Lean che appaiono maggiormente adeguati alla situazione e all'impresa oggetto di studio.

Inoltre, nella letteratura presa in esame manca un'analisi empirica approfondita e sistemica che vada a raccogliere le opinioni dei professionisti di imprese appartenenti a diversi settori, i quali conoscono, utilizzano o aiutano ad implementare la filosofia Lean o producono i sistemi automatici di magazzino, in modo da comprendere, dal loro punto di vista, il rapporto esistente tra Lean Warehousing e automazione di magazzino, quali sono le loro potenzialità e i possibili benefici e svantaggi derivanti dall'impiego combinato di questi due approcci.

Questo è il research gap che la presente tesi intende contribuire a colmare e per tale motivo, i capitoli successivi saranno dedicati ad esporre l'ideazione e la conduzione di un survey rivolto a quelle figure professionali che possiedono una buona esperienza sulle tematiche inerenti al Lean Manufacturing e all'automazione di magazzino. I risultati dell'indagine empirica saranno analizzati ed interpretati tramite opportuni strumenti statistici.

3 Metodologia di ricerca

Il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di accrescere gli studi esistenti sul tema relativo al legame tra Lean Manufacturing e automazione applicati ai magazzini di imprese manifatturiere, procedendo con un'analisi empirica che vada a coinvolgere diverse figure professionali, appartenenti al panorama italiano, dotate di esperienza in questi ambiti di interesse.

L'analisi condotta ha previsto la selezione di un campione casuale di persone, alle quali è stato somministrato un questionario, composto essenzialmente da domande a risposta chiusa, per raccogliere le opinioni di ognuno di loro sullo stato di applicazione del Lean Warehousing e dell'automazione di magazzino. Il coinvolgimento di figure esperte permette di ottenere opinioni affidabili che rendono i risultati conseguiti attendibili.

L'analisi empirica dedicata alla raccolta di informazioni essenzialmente qualitative, sembrava essere la più adeguata al problema in oggetto perché, come discusso nel capitolo 2, la letteratura analizzata permette di constatare come i ricercatori si siano soffermati prevalentemente sulla raccolta di dati numerici relativi alle performance delle operazioni di magazzino in aziende dove veniva applicato almeno uno degli approcci in esame, piuttosto che sul coinvolgimento diretto di professionisti da cui ricavare le opinioni personali rispetto a questi temi.

Per questi motivi, lo studio effettuato ha interessato un insieme di professionisti che hanno modo di fronteggiarsi quotidianamente con i sistemi automatici di magazzino e/o con il Lean Manufacturing. Poiché le figure professionali conoscitrici di questi due approcci possiedono competenze differenti a seconda della mansione rivestita in azienda, è stato necessario elaborare tre questionari, uno per ogni categoria di professionisti. Le tre tipologie di figure qualificate ritenute idonee per la ricerca sono state coloro che applicano Lean e automazione in azienda, gli esperti di questi due approcci e gli sviluppatori di soluzioni automatiche per il magazzino. Si è identificato poi un campione di persone proveniente da tutta Italia, con un ruolo professionale adatto per essere incluse in una di queste categorie. Infine si è effettuato uno studio approfondito dei dati raccolti utilizzando opportuni strumenti statistici che hanno permesso anche di verificare se ci fossero differenze rilevanti tra le opinioni dei diversi soggetti coinvolti.

3.1 La struttura dei questionari

Per comprendere appieno il tema in esame, è stato necessario coinvolgere diverse tipologie di esperti a cui sono corrisposte tre categorie di questionario, una delle quali risulta essere quella “generale” dalla quale sono state poi derivate le altre due, modificando le domande e le possibili risposte a seconda del punto di vista del potenziale rispondente a cui è stato inviato.

I questionari sono stati somministrati garantendo l’anonimato, sia per tutelare la privacy dei soggetti coinvolti sia per incentivarli alla risposta.

3.1.1 Questionario “generale”

Il questionario “generale”, consultabile interamente in Appendice 1, è stato indirizzato a tutte quelle figure professionali che hanno mansioni che prevedono l’applicazione della filosofia Lean e dei suoi strumenti e l’utilizzo o la supervisione di magazzini automatizzati, come i responsabili, i relativi addetti, ma anche i direttori operativi e i quality manager.

La struttura del suddetto questionario prevede una prima sezione riferita alle informazioni di carattere generale del professionista a cui ci si è rivolti. Si è cercato di identificare il suo ruolo all’interno dell’azienda, i paesi in cui opera, il settore di appartenenza dell’impresa e la relativa classificazione a livello dimensionale.

La sezione successiva è costituita da un insieme di domande focalizzate sulla comprensione degli approcci utilizzati in magazzino, in particolare si è tentato di comprendere quali strumenti forniti dalla filosofia Lean fossero stati adoperati e i sistemi automatici di stoccaggio, di trasporto e le tecnologie a supporto del picking presenti. Si è inserita anche un’opzione per i dipendenti di quelle aziende che non utilizzano né la metodologia Lean né l’automazione, anche se si è cercato di individuare professionisti che fossero realmente impiegati in imprese in cui almeno uno dei due approcci venisse effettivamente implementato. Inoltre, si è voluto rilevare quali fossero i vantaggi e gli svantaggi ipotizzabili o riscontrati nei propri magazzini a seguito dell’uso congiunto di Lean Manufacturing e automazione, proponendo come opzioni di risposta i benefici e gli aspetti negativi maggiormente riconosciuti in letteratura rispetto a queste tematiche.

La terza sezione mira a comprendere in quali operazioni di magazzino potrebbero essere utilizzati i due approcci in modo efficace, cercando anche di individuare le attività che beneficerebbero maggiormente di essi.

L'ultima sezione ha l'obiettivo di identificare le motivazioni che hanno spinto l'impresa, in cui lavora il rispondente, verso l'automazione e l'applicazione del Lean Manufacturing, ma anche quello di comprendere da quanto tempo si è avuta la relativa implementazione. Infine, si è ritenuto interessante constatare, dal punto di vista delle figure professionali coinvolte, in quale ordine dovrebbero essere applicati i due approcci ai magazzini.

In tutte le domande a risposta multipla, per cui si è data la possibilità di selezionare più di una risposta, oltre alle opzioni presenti, è stata inserita anche la categoria "Altro" per dare la facoltà al rispondente di inserire la risposta ritenuta più opportuna.

3.1.2 Questionario per gli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino

In Appendice 2, si riporta il secondo questionario, indirizzato agli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino che solitamente rivestono il ruolo di consulenti all'interno delle imprese, oppure si tratta di professionisti che lavorano in aziende manifatturiere e che si ritengono esperti di automazione.

Le domande che sono state loro rivolte sono le stesse presenti nel questionario "generale", ma sono state formulate in modo tale da analizzare un altro punto di vista rispetto a quello delle figure professionali identificate per il primo questionario, presupponendo che la loro professione non li conduca verso l'utilizzo diretto di sistemi automatici di magazzino, o l'applicazione in prima persona del Lean Manufacturing. Le figure professionali ritenute esperte di automazione, infatti, sono quelle che gestiscono, implementano o hanno un'ottima conoscenza di sistemi automatizzati per il magazzino, mentre gli esperti di Lean Manufacturing sono tendenzialmente consulenti che prestano servizio presso le imprese manifatturiere al fine di aiutarle nell'implementazione di principi e strumenti offerti dalla filosofia Lean.

3.1.3 Questionario per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino

L'ultimo questionario, riportato in Appendice 3, è stato pensato per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino, che si è ipotizzato non avere le giuste competenze per rispondere alle domande sui temi relativi al Lean Manufacturing. Per questo motivo, tutte le domande presenti fanno riferimento alla sola automazione. Si è cercato di comprendere, innanzitutto, se il rispondente si ritenesse uno sviluppatore di sistemi automatici di movimentazione, di stoccaggio, di picking o di software. Poiché la letteratura ha individuato molti settori in cui Lean e automazione sono stati applicati, si è deciso di capire, secondo l'esperienza dei lavoratori, quali fossero i settori manifatturieri maggiormente interessati ad automatizzare il proprio magazzino. Inoltre, si è valutato quali fossero le soluzioni automatizzate che vengono sviluppate nelle loro aziende e quali siano i vantaggi e gli svantaggi, riscontrabili dal loro punto di vista. Le restanti domande sono le stesse presenti nei questionari precedenti, con la sola differenza che si sta richiedendo il punto di vista di un soggetto che non utilizza i sistemi automatici di magazzino ma lavora per un'azienda che li produce.

3.2 L'individuazione dei potenziali rispondenti

Dall'analisi di alcune pubblicazioni scientifiche, in cui i ricercatori hanno elaborato e somministrato questionari per comprendere il livello di diffusione della filosofia Lean, è emerso che la dimensione campionaria considerata adeguata alla ricerca è stata di 100 persone (Khaskheli, 2020 e Mehta *et al.*, 2012). Di conseguenza, trattandosi di una delle tematiche approfondite anche nel presente elaborato, si è ritenuto opportuno individuare 100 professionisti appartenenti al panorama italiano, per ognuna delle categorie di questionario precedentemente descritte, per un totale di 300 potenziali rispondenti.

Lo strumento utilizzato per individuarli e contattarli è stato il social network LinkedIn. Quest'ultimo permette a ciascun utente di segnalare sul proprio profilo, tutto ciò che riguarda le competenze ed esperienze lavorative maturate, ma anche di effettuare ricerche per parole chiave, ad esempio cercando i professionisti attraverso il ruolo rivestito

in azienda. Per questi motivi, si è ritenuto particolarmente utile per identificare e contattare i potenziali rispondenti.

Il profilo di ciascun candidato è stato analizzato attentamente per comprendere se la figura professionale potesse essere realmente adeguata a rispondere alle domande che sono state preparate.

In Tabella 2, si riportano i potenziali rispondenti individuati, indicati con il ruolo da loro segnalato sul proprio profilo social e il settore di riferimento dell'azienda per cui lavorano.

Responsabili di magazzino/Operatori di magazzino/Direttori di stabilimento/Quality manager		Esperti Lean e/o automazione		Sviluppatori di sistemi automatici di magazzino	
Ruolo	Settori	Ruolo	Settori	Ruolo	Settori
Titolare di un'impresa dotata di magazzino automatizzato	Beni di lusso e gioielli	Kaizen Promotion Officer	Costruzione di magazzini automatici	Progettista meccanico	Automazione industriale
Responsabile magazzino automatizzato	Alimentare	Tecnico collaudatore	Logistica e Supply Chain	Mechanical Engineering	Automazione industriale
Responsabile logistica inbound	Grande Distribuzione	Tecnico Meccatronico	Macchinari industriali	Ingegnere meccanico	Automazione industriale
Responsabile di magazzino automatizzato	Sport	Sales and Technical Manager	Automazione industriale	Ingegnere meccanico	Automazione industriale
Responsabile magazzino automatizzato	Minerario e metalli	Responsabile Vendite Italia	Automazione industriale	Progettista meccanico	Costruzione di magazzini automatici
Responsabile magazzino automatizzato	Minerario e metalli	Senior Consultant	Logistica e Supply Chain	Progettista	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino automatizzato	Ingegneria meccanica o industriale	Head of Technical Project Hub	Logistica e Supply Chain	Geometra, Disegnatore Meccanico, Progettista	Costruzione di magazzini automatici
Responsabile magazzino automatico e supporto produzione	Produzione elettrica ed elettronica	System Sales Person	Logistica e Supply Chain	LGV Software Engineer	Automazione industriale
Responsabile Magazzino Automatico	Imballaggi e contenitori	Managing Director	Logistica e Supply Chain	Field Service Engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino automatico merce lavorata, responsabile spedizioni e scarico merci	Import ed export frutta	Kaizen Trainer	Consulenza	Progettista meccanico	Logistica e Supply Chain
Responsabile Gestione Magazzino Automatico	Ingegneria meccanica o industriale	Kaizen Trainer	Consulenza	Ingegnere Civile, Progettazione Scaffalature, Facility Management	Logistica e Supply Chain

Responsabile di un Magazzino automatizzato/ Warehouse Manager	Logistica e Supply Chain	Kaizen Engineer	Consulenza	Ingegnere progettista	Logistica e Supply Chain
Assistente magazzino automatico, addetto al picking, carrellista	Tessile	Kaizen Engineer	Consulenza	Disegnatore meccanico	Logistica e Supply Chain
Responsabile del nuovo Magazzino Automatizzato in Filmar, Regista di Magazzino e Preposto alla Sicurezza	Tessile	Senior Kaizen Trainer	Consulenza	Structure Sales Engineering	Logistica e Supply Chain
Responsabile di magazzino automatizzato	Macchinari industriali	Office Manager	Consulenza	Automation & Data Science Manager	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino automatizzato	Vendite all'ingrosso	Kaizen Trainer	Consulenza	Technical Engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino	Accessori e moda	Kaizen Engineer	Consulenza	Technical Manager	Costruzione di magazzini automatici
Aftersales, Logistics and Quality Manager	Automotive	Senior Kaizen Trainer	Consulenza	Automation Solutions Division Manager	Automazione industriale
Gestione magazzini automatici	Ingegneria meccanica o industriale	Lean Expert	Consulenza	Mechanical Designer e Layout Engineer	Automazione industriale
Vice regista magazzino automatizzato	Tessile	Supply Chain Consultant, Lean Management	Consulenza	Tecnico mecatronico e dell'automazione industriale	Costruzione di magazzini automatici
Warehouseman of maintenance	Imballaggi e contenitori	Lean Master	Consulenza	Tecnico collaudatore	Costruzione di magazzini automatici
Operatore di magazzino automatico	Imballaggi e contenitori	Lean Manager	Consulenza	Ingegnere progettazione meccanica	Costruzione di magazzini automatici
Operatore di magazzino automatico	Arredamento	Lean Master	Consulenza	Tecnico specializzato	Costruzione di magazzini automatici
Operatore di magazzino automatico	Arredamento	Supply Chain Planning Professional	Consulenza	Software Engineer	Costruzione di magazzini automatici
Operatore magazzino verticale automatico	Macchinari industriali	Lean and Digital Transformation Senior Consultant	Consulenza	Structural Engineer	Logistica e Supply Chain
Operatore di magazzino	Macchinari industriali	Principal	Consulenza	Automation Department Manager	Automazione industriale
Addetto alla gestione del magazzino automatico, alla programmazione e alla piegatura automatica	Macchinari industriali	Principal Lean Master	Consulenza	Product Engineering	Automazione industriale
Operatore di magazzino automatico	Fabbricazione di schede elettroniche assemblate	Direttore Generale e Lean Master	Consulenza	Ingegnere progettista	Costruzione di magazzini automatici
Operatore magazzino automatico	Arredamento	Change Agent & Lean Lifestyle Leader - Plant Manager	Beni di consumo	Mechanical Designer	Costruzione di magazzini automatici
Operatore di logistica	Automotive	Senior Consultant	Consulenza	General Manager	Forniture aziendali

Operatore di magazzino	Progettazione e realizzazione di impianti per il settore lattiero-caseari	Lean Master	Consulenza	Manufacturing Engineer	Strutture ospedaliere e sanità
Warehouse & Knapp automation analyst	Beni di lusso e gioielli	Associate and Senior Consultant	Consulenza	System Design & Engineering	Strutture ospedaliere e sanità
Warehouse Coordinator	Ferrovioario	Consulente	Consulenza	Tecnico collaudatore	Strutture ospedaliere e sanità
Addetto impianti automatizzati	E-Commerce, Retail, Operations e Internet	Senior Associate Consultant	Consulenza	Progettista	Logistica e Supply Chain
Responsabile delle spedizioni	Alimenti e bevande	Associate and Senior Consultant	Consulenza	Site Manager	Logistica e Supply Chain
Direttore Supply Chain e Logistica	Fabbricazione di macchine e apparecchi di sollevamento e movimentazione	Associate and Senior Consultant	Consulenza	Mechanical Engineer	Logistica e Supply Chain
Operatore di magazzino addetto al reparto automatico	Logistica e Supply Chain	Consultant	Consulenza	Mechatronic Engineer	Logistica e Supply Chain
Addetto movimentazione e confezionamento prodotto industria beverage	Servizi logistici relativi alla distribuzione delle merci	Lean Senior Consultant	Consulenza	Progettista meccanico	Logistica e Supply Chain
Impiegato di magazzino	Logistica e Supply Chain	Partner	Consulenza	Senior mechanical engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino automatico	Automotive	Partner	Consulenza	AGV Business Unit Development Manager	Automazione industriale
Warehouse Supervisor	Automotive	Lean Senior Consultant	Consulenza	AGV R&D Engineer	Macchinari industriali
Field Operations Specialist	Alimenti e bevande	Amministratore Delegato	Consulenza	Senior AGV System Engineer	Macchinari industriali
Logistics Development - Project Manager	Alimentare	Senior Consultant	Consulenza	AGV's and LGV's Tester Specialist	Automazione industriale
Addetto alla logistica - magazzino automatizzato e Miniload	Logistica e Supply Chain	Lean Senior Consultant	Consulenza	AGV Software ENG. & C# Developer	Automazione industriale
Addetto logistica	Logistica e Supply Chain	Consulente	Consulenza	Senior Automation Engineer	Macchinari industriali
Operatore di magazzino	Alimentare	Consulente	Consulenza	Automation Engineer	Macchinari industriali
Warehouse Specialist	Macchinari industriali	Lean Processes Consultant	Consulenza	Robot Mechanical Designer	Automazione industriale
External Center Engineer/Responsabile Manutenzione/Field Service Coordinator/ Project Manager	Ingegneria meccanica o industriale	Lean Processes Consultant	Consulenza	Automation Engineer	Automazione industriale
Responsabile magazzini automatizzati	Produzione elettrica ed elettronica	Lean Consultant	Consulenza	Responsabile automazione	Automazione industriale
Responsabile magazzino automatizzato prodotti finiti	Macchinari industriali	Consulente	Consulenza	Progettista meccanico R&D	Macchinari industriali
Responsabile di magazzino	Strumenti medicali	Lean Processes Consultant	Consulenza	Supply Chain and Process Engineer	Arredamento

Operatore di magazzino automatizzato	Grande Distribuzione	Partner	Consulenza	Research and Development, designing wood painting machines and systems	Ingegneria meccanica o industriale
Responsabile di conduzione magazzino automatizzato	Grande Distribuzione	Consulente	Consulenza	Project Manager for automated warehouse	Macchinari industriali
Responsabile magazzino automatizzato	Grande Distribuzione	Lean Processes Consultant	Consulenza	Responsabile Technical Sales - Automated Warehouse Systems	Logistica e Supply Chain
Conduttore magazzino automatizzato	Grande Distribuzione	Account Relationship Leader	Consulenza	Warehouse Manager	Automazione industriale
Responsabile della logistica	Grande Distribuzione	Lean Processes Consultant	Consulenza	Project Manager robotica	Logistica e Supply Chain
Responsabile magazzino automatizzato	Grande Distribuzione	Consulente	Consulenza	Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Logistic Operations Manager	Accessori e moda	Value Delivery Manager	Consulenza	Technical Lead	Macchinari industriali
Customer Service Dpt - Embedded Engineer	Automazione industriale	Consulente	Consulenza	Progettista meccanico	Logistica e Supply Chain
Responsabile controllo qualità	Automazione industriale	Lean Six Sigma Consultant	Consulenza	Disegnatore meccanico	Macchinari industriali
Automation Manager	Automazione industriale	Consulente Junior di Lean Manufacturing	Consulenza	Disegnatore CAD	Macchinari industriali
Direttore ingegneria divisione logistica STS	Macchinari industriali	Lean Consultant	Consulenza	Perito Meccanico senior/Disegnatore Tecnico	Macchinari industriali
Reparto produzione e magazzino automatizzato	Arredamento	Lean Six Sigma Senior Consultant	Consulenza	Progettista meccanico	Automazione industriale
Addetto all'automazione del magazzino automatizzato di Barilla	Logistica e Supply Chain	Lean Master, consulente e coach	Consulenza	Progettista meccanico	Macchinari industriali
Gestore dei magazzini verticali	Ingegneria meccanica o industriale	Consulente logistica di magazzino	Consulenza	Machine Safety Expert	Costruzione di magazzini automatici
Warehouse Manager	Logistica relativa ad accessori e moda	Consulente aziendale	Consulenza	Software Development Manager	Logistica e Supply Chain
Addetto alla logistica	Alimentare	Sales Area Manager	Logistica e Supply Chain	Software Project Manager	Logistica e Supply Chain
Operatore di magazzino	Accessori e moda	Managing Director	Automazione industriale	Project Manager	Automazione industriale
Responsabile Logistica Automatizzata e reparto Manutenzione	Imballaggi e contenitori	Key Account Manager	Automazione industriale	General Manager	Automazione industriale
Logistics Manager	Chimica e Minerali	Sales and Business Development Manager	Automazione industriale	Automation & Control Engineer	Automazione industriale
Responsabile magazzino con sistema automatizzato	Farmaceutico	Service Sales & Logistics Manager	Automazione industriale	Responsabile settore elettrico e software automazione	Logistica e Supply Chain
Automated Warehouse Manager	Alimentare	Sales Engineer	Automazione industriale	Ingegnere di processo	Ingegneria meccanica o industriale
Logistic and Warehouse Manager	Grande distribuzione	Ingegnere meccanico	Automazione industriale	Senior Software Engineer	Logistica e Supply Chain

Warehouse Manager	Automotive	Titolare - Responsabile commerciale	Automazione industriale	Senior Project Manager	Automazione industriale
Warehouse Manager	Farmaceutico	Titolare	Automazione industriale	Progettista meccanico	Automazione industriale
Automated Warehouse Operator	Automotive	Operations Manager, Lean Promoter & ERP Specialist	Logistica e Supply Chain	Progettista meccanico	Automazione industriale
Systems and Warehouse Manager	Accessori e moda	Director of Operations	Logistica e Supply Chain	Mechanical Engineer and 3D Designer	Automazione industriale
Automated Warehouse Operator	Farmaceutico	Direction e Product Management	Logistica e Supply Chain	Project Engineer Technical Sales AGV	Logistica e Supply Chain
Automated Warehouse Manager	Minerario e metalli	Product manager vertical	Logistica e Supply Chain	Project Manager Implementation	Logistica e Supply Chain
Warehouse Supervisor	Strumenti medicali	Service Vertical Supervisor	Logistica e Supply Chain	Technical Sales Manager / Responsabile Sistemi Logistici	Logistica e Supply Chain
Warehouse Manager	Farmaceutico	Project Manager	Logistica e Supply Chain	Software Engineer	Automazione industriale
Responsabile di magazzino	Accessori e moda	Project Manager	Logistica e Supply Chain	Project Engineer	Automazione industriale
Operatore di magazzino	Ingegneria meccanica o industriale	Esperto Lean	Logistica e Supply Chain	Progettista meccanico	Automazione industriale
Operatore specializzato	Logistica e Supply Chain	Procurement and logistics automation responsible	Logistica e Supply Chain	Responsabile ufficio tecnico	Costruzione di magazzini automatici
Tecnico di manutenzione	Imballaggi e contenitori	AS/RM Mechanical Design Manager	Logistica e Supply Chain	Mechanical Designer	Costruzione di magazzini automatici
Farmacista	Farmaceutico	AS/RS racking technical manager	Logistica e Supply Chain	Progettista - Disegnatore meccanico	Automazione industriale
Addetto al magazzino	Macchinari industriali	Consulente commerciale	Logistica e Supply Chain	Mechanical Design Engineer	Logistica e Supply Chain
Senior Maintenance Manager Automatic Warehouse	Alimentare	Head of Operations	Logistica e Supply Chain	Progettista meccanico	Logistica e Supply Chain
Addetto magazzino automatizzato	Beni di lusso e gioielli	Quality Manager	Logistica e Supply Chain	Chief Technical - Ingegnere meccanico	Logistica e Supply Chain
Operatore di magazzino automatizzato	Edilizia	Sales Manager	Costruzione di magazzini automatici	Site Manager	Logistica e Supply Chain
Operaio specializzato magazzino automatico	Petrolio ed energia	Project Manager	Automazione industriale	Progettista meccanico	Logistica e Supply Chain
Operatore magazzino automatico	Logistica e Supply Chain	Project Manager	Automazione industriale	Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile di reparto	Ingegneria meccanica o industriale	Sites Supervisor: Automation - Racking System Specialist	Automazione industriale	Ingegnere Progettista Meccanico Ricerca & Sviluppo	Automazione industriale
Impiegato di magazzino	Fabbricazione di prodotti in metallo	Mechanical Engineer	Costruzione di magazzini automatici	Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile logistica e tecnico	Editoria e Industria	Responsabile di Sede - Sales Manager	Costruzione di magazzini automatici	Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Warehouse Keeper	Petrolio ed energia	Senior System Sales Engineer	Costruzione di magazzini automatici	Automation and Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Incoming Warehouse Operator	Automazione industriale	Project Manager	Automazione industriale	Chief Operations Officer (COO)	Logistica e Supply Chain

Warehouse Worker Specialist	Macchinari industriali	Project Manager	Logistica e Supply Chain	Automation & Software Engineer	Logistica e Supply Chain
Responsabile della logistica	Plastica	Kaizen Manager	Costruzione di magazzini automatici	Senior Automation Software PLC & System Engineer Head of WCS Commissioning	Logistica e Supply Chain
Operatore di magazzino automatizzato	Abbigliamento e calzature da lavoro	Manufacturing Engineer	Strutture ospedaliere e sanità	Tecnico informatico	Automazione industriale

Tabella 2 - Elenco dei potenziali rispondenti con i corrispettivi ruoli e settori di appartenenza, tratti dal social network LinkedIn, categorizzati per tipologia di questionario somministrato

Per il questionario “generale” si sono individuati tutti quei professionisti come i responsabili di magazzino, gli operatori, i quality manager e i direttori operativi che operano tutti i giorni con soluzioni automatizzate e che conoscono gli strumenti Lean che vengono impiegati in azienda e i vantaggi e gli svantaggi che ne possono derivare. Come si evince dalla Tabella 2, ci sono svariati ambiti in cui si applica l’automazione di magazzino e questo rappresenta un primo elemento interessante per la ricerca.

Per quanto riguarda gli esperti Lean, essi tendenzialmente svolgono il ruolo di consulenti, fornendo il proprio contributo nelle aziende per stimolarle e aiutarle nell’implementazione della metodologia e degli strumenti ad essa correlati. Gli esperti di automazione di magazzino, invece, lavorano generalmente in imprese in cui si progettano sistemi automatici per la logistica interna e sono stati selezionati per il questionario ad essi designato perché si sono dichiarati profondi conoscitori dell’automazione. Alcuni di essi, inoltre, si sono ritenuti anche esperti di Lean Manufacturing, per cui questa tipologia di questionario appariva quella maggiormente indicata.

Infine, per l’ultimo questionario, si può osservare che coloro che si occupano della realizzazione di sistemi automatici di magazzino sono principalmente progettisti meccanici, ingegneri del software, per tutto ciò che concerne la programmazione dei macchinari, ma anche project manager che realizzano soluzioni automatizzate, coordinando i propri team di progetto.

3.3 La somministrazione dei questionari

La somministrazione dei tre questionari si è svolta nel periodo compreso tra il 15/07/2021 e il 01/09/2021, coprendo quindi un lasso temporale di circa un mese e mezzo.

I questionari sono stati realizzati mediante l'applicazione web Moduli Google che permette di generare i link che rimandano ai questionari realizzati, in modo tale da renderli facilmente condivisibili. I potenziali rispondenti sono stati contattati mediante il social network LinkedIn ed è stata loro inviata una lettera di accompagnamento per spiegare l'obiettivo della ricerca.

I tassi di risposta ottenuti per i tre questionari sono stati i seguenti:

- 38% per il questionario "generale";
- 33% per il questionario rivolto agli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino;
- 38% per il questionario dedicato agli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino.

I risultati conseguiti possono ritenersi soddisfacenti per una ricerca in ambito accademico, infatti, a titolo esemplificativo, si citano due lavori scientifici che hanno ottenuti tassi di risposta in linea con quelli della presente ricerca. Gli studiosi che hanno pubblicato il primo articolo, dedicato ad un'indagine sulla gestione del magazzino, hanno ottenuto un tasso di risposta del 28% (Faber *et al.*, 2013), mentre quelli del secondo lavoro di ricerca qui considerato, rivolto allo studio dell'implementazione del Lean Manufacturing nel settore automobilistico cinese, hanno raggiunto un tasso del 40% (El Safty, 2012).

Da una prima analisi di carattere generale, si è constatato che tutti i rispondenti al questionario "generale" lavorano solamente in Italia, mentre una piccola minoranza di esperti di Lean Manufacturing o di automazione di magazzino lavora anche in altri paesi, come si può osservare in Figura 27.

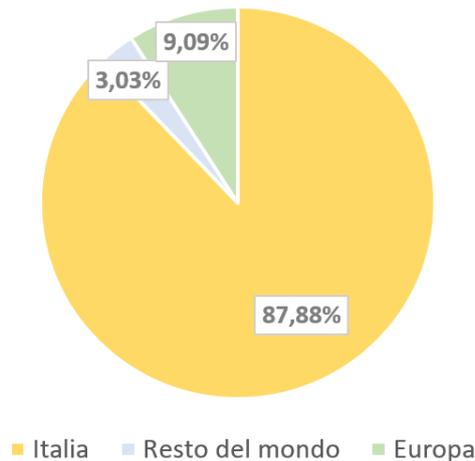


Figura 27 - Paesi in cui operano gli esperti di Lean Manufacturing e/o automazione di magazzino

È emerso che anche gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino lavorano principalmente in Italia (Figura 28). Si è osservata però una contraddizione in una risposta in cui il rispondente ha dichiarato di operare nel “resto del mondo”, ma nella domanda successiva, in cui veniva richiesto di dettagliare i paesi in cui risulta essere impiegato, ha affermato di lavorare solamente in Italia, per cui lo sviluppatore di sistemi automatici è stato incluso all’interno della categoria di figure qualificate che lavorano solamente in Italia.

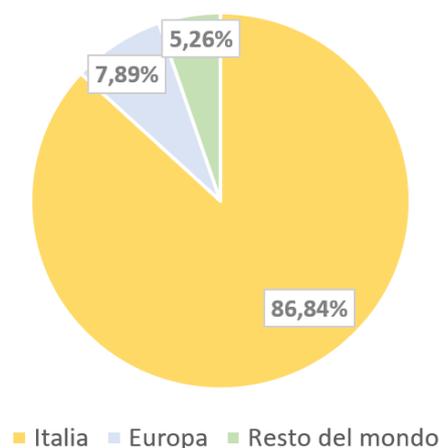


Figura 28 - Paesi in cui operano gli sviluppatori di soluzioni automatiche di magazzino

Quindi in base ai dati raccolti, si può affermare che la ricerca ha interessato un campione di professionisti che opera essenzialmente in Italia, con una piccola porzione di essi che ha anche esperienze all'estero.

3.4 Selezione degli strumenti per l'analisi dei risultati della survey

In base alla tipologia di ricerca e di obiettivi che si pone il presente lavoro di tesi, è stato necessario formulare un insieme di domande che permettessero di comprendere le opinioni dei professionisti coinvolti rispetto ai temi del Lean Warehousing e dell'automazione di magazzino.

Data la natura prettamente qualitativa dei dati raccolti, è stato opportuno individuare strumenti idonei per analizzarli. I metodi grafici, i quali permettono di vedere visivamente le caratteristiche dei dati raccolti, sembravano essere i più adeguati. In particolare, in mancanza di un ordinamento e per rappresentare fenomeni di carattere qualitativo un utile grafo è quello a barre. I grafi a barre possono essere orizzontali o verticali e prevedono una categorizzazione delle risposte, con una dimensione della barra proporzionale alla rispettiva percentuale di risposte che ricadono all'interno di quella categoria. Un altro strumento grafico che verrà impiegato è il diagramma a torta che permette di raffigurare la percentuale di risposte che appartiene ad una certa categoria come uno "spicchio" della torta (Vicario e Levi, 2008).

Nel successivo capitolo 4 si andrà quindi ad analizzare i dati raccolti dai tre questionari somministrati, con gli strumenti appena descritti, al fine di comprendere se le opinioni delle figure professionali che conoscono, utilizzano o aiutano nell'implementazione della filosofia Lean e di coloro che producono i sistemi automatici di magazzino siano o meno differenti. Questo permetterà di esaminare il legame esistente tra Lean Manufacturing e automazione di magazzino e i relativi vantaggi e svantaggi che ne possono derivare secondo le figure professionali esperte in questi due approcci.

4 Analisi dei risultati della survey

Il quarto capitolo sarà dedicato all'analisi dei risultati ottenuti dalla somministrazione dei tre questionari.

Il paragrafo 4.1 presenterà un'analisi della prima sezione del questionario destinata alla raccolta di informazioni di carattere generale sui professionisti coinvolti nella ricerca.

Il paragrafo successivo permetterà di comprendere se Lean Manufacturing e automazione di magazzino risultano essere applicati nelle aziende in cui lavorano i rispondenti al questionario "generale" e gli effetti favorevoli o i punti a sfavore ad essi correlati.

Si valuterà anche l'orientamento del settore manifatturiero verso le due metodologie in esame, secondo gli esperti in questi due approcci, valutando anche i possibili vantaggi e svantaggi ipotizzabili a seguito dell'applicazione. Si andrà ad esaminare, inoltre, il parere degli sviluppatori di soluzioni automatiche per il magazzino, al fine di comprendere, dal loro punto di vista, i sistemi automatici e le tecnologie prodotte all'interno delle loro aziende e i benefici e aspetti negativi che potrebbero presentarsi a seguito dell'implementazione.

Nel paragrafo seguente si andrà ad analizzare le operazioni di magazzino impattate positivamente da Lean Manufacturing e automazione.

Infine, nel paragrafo conclusivo, si dettaglieranno le motivazioni che potrebbero condurre le imprese verso la filosofia Lean o l'automazione e le tempistiche di implementazione dei due approcci secondo le opinioni di tutti i professionisti che hanno partecipato alla survey.

4.1 Le caratteristiche generali dei professionisti coinvolti nella ricerca

Il presente paragrafo permetterà di comprendere quali ruoli rivestono le figure professionali che hanno compilato i tre questionari, in quali settori lavorano e la dimensione delle aziende all'interno delle quali operano i rispondenti al questionario "generale".

Come si evince dalla Figura 29, nel questionario "generale" si osserva una preponderanza di figure professionali che rivestono il ruolo di responsabili di magazzino o della logistica, di operatori e di esperti di automazione, che rappresentano circa il 71% dei rispondenti. Nonostante, dall'analisi del profilo LinkedIn, i professionisti individuati per la ricerca avessero indicato ruoli professionali che li avevano resi idonei per il presente questionario, alcuni hanno risposto dichiarandosi solamente esperti di automazione, senza precisare la specifica mansione aziendale. In tal caso, probabilmente il questionario maggiormente indicato per loro sarebbe stato quello per gli esperti di Lean e/o automazione piuttosto che quello "generale".

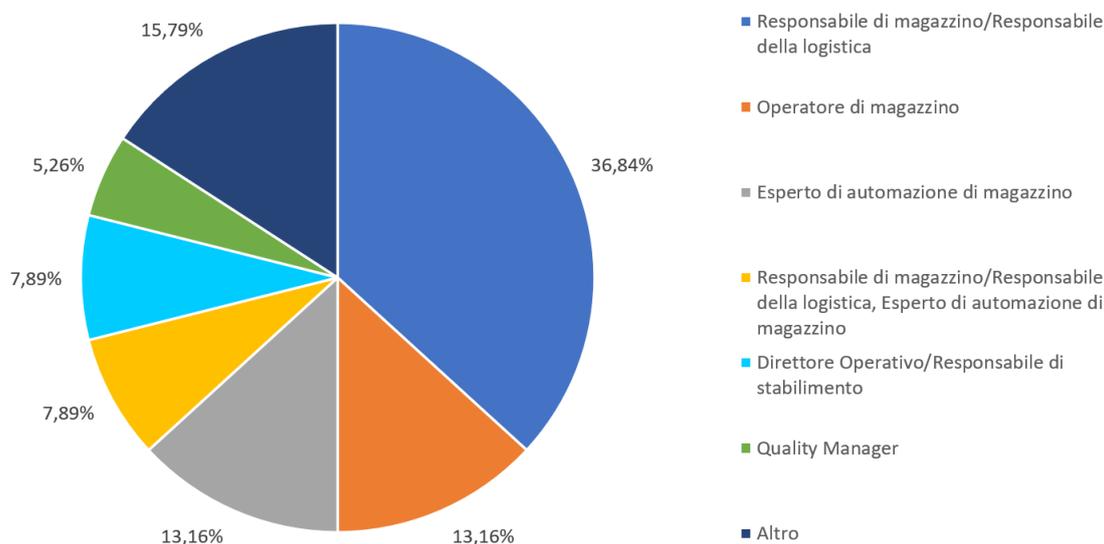


Figura 29 - Ruoli dei rispondenti al questionario "generale"

Il questionario per gli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino ha visto una prevalenza di esperti Lean che hanno rappresentato circa il 64% del totale dei rispondenti (Figura 30). Un rispondente, incluso all'interno della categoria "Altro", ha affermato di essere esperto sia di automazione che di logistica. Solo pochi professionisti si sono dichiarati esperti di automazione di magazzino, mentre la restante parte ha indicato lo specifico ruolo rivestito all'interno dell'impresa, nonostante sul proprio profilo social abbia affermato di essere esperta in almeno uno dei due approcci in esame. Dal momento che, questa tipologia di questionario era stata predisposta per comprendere il rispondente di quale approccio fosse esperto e non lo specifico ruolo aziendale, coloro che hanno menzionato la qualifica ricoperta nell'impresa in cui operano sono stati inclusi all'interno della categoria "Altro".

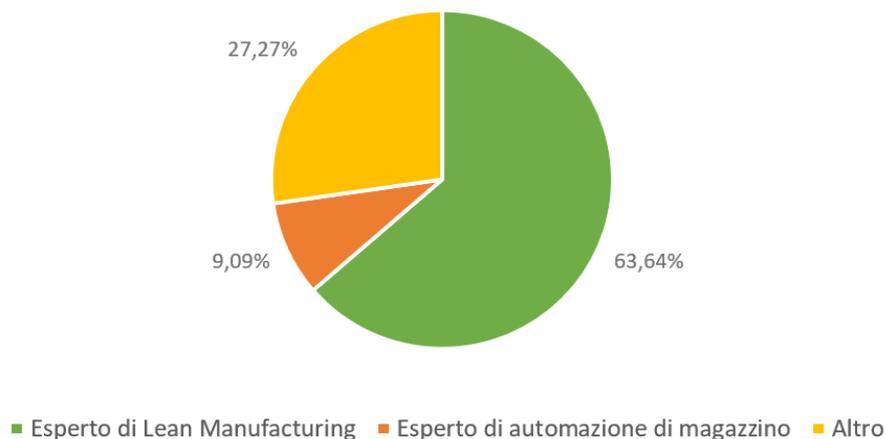


Figura 30 – Ruolo dei rispondenti al questionario per gli esperti di Lean e/o di automazione di magazzino

Nell'ultimo questionario si osserva che circa il 74% dei rispondenti si è definito sviluppatore di sistemi automatici di magazzino, alcuni si occupano della progettazione di un solo tipo di sistema automatico, altri invece ne sviluppano di diverse tipologie. La restante porzione ha dichiarato di rivestire altri ruoli all'interno dell'impresa, come progettista meccanico o di scaffalature, e sono stati per questo inseriti all'interno della categoria "Altro" (Figura 31).

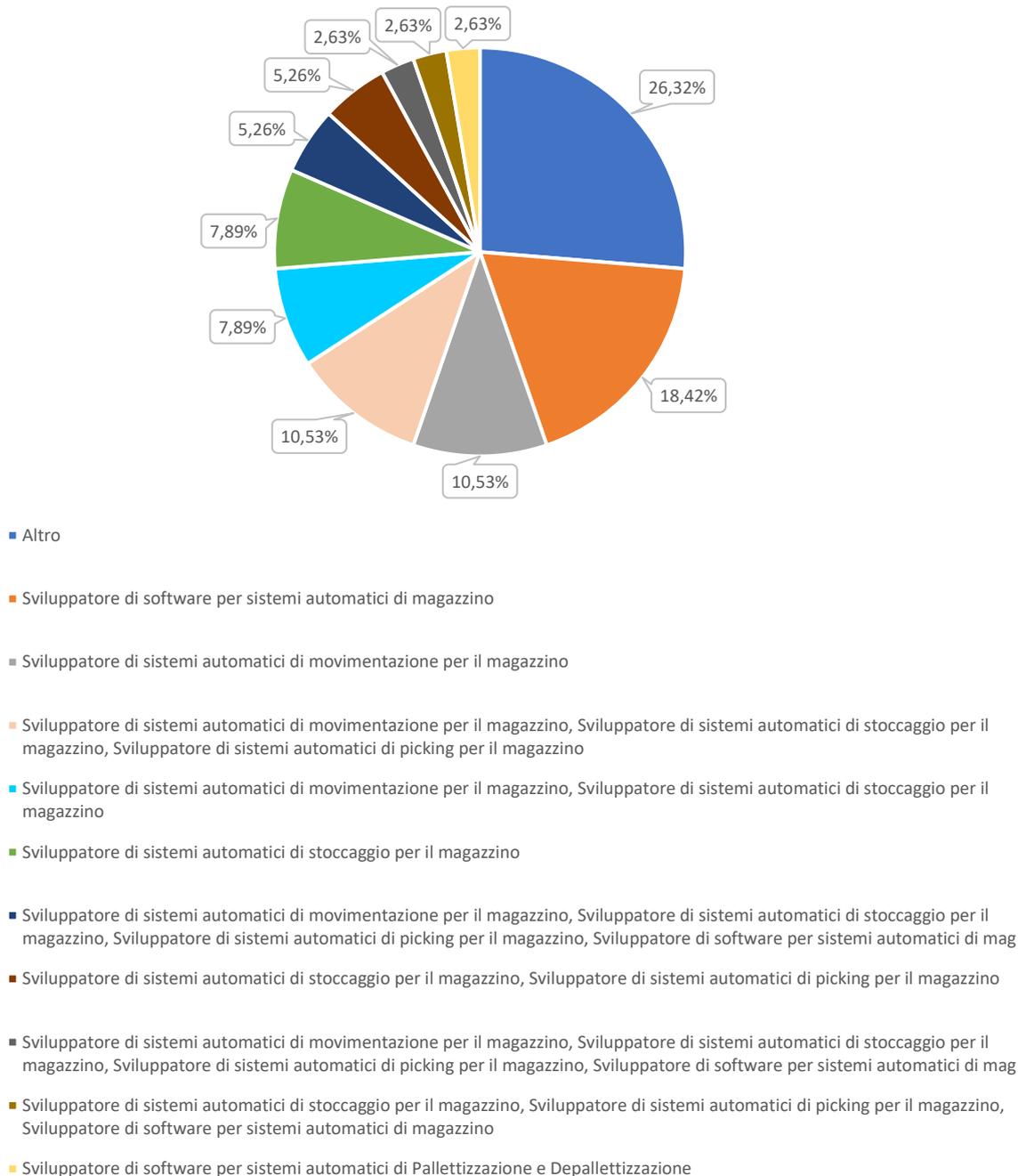


Figura 31 - Ruolo dei rispondenti al questionario per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino

Come si evince dalla Figura 32, si ha una vasta gamma di settori manifatturieri a cui appartengono le imprese per cui lavorano i professionisti a cui è stato dedicato il questionario "generale". Si può osservare che alcuni di loro lavorano all'interno di imprese che appartengono a molteplici settori. Inoltre, un rispondente ha dichiarato di lavorare per il settore automotive, sebbene nel questionario fosse stato indicato il settore

“Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto”, per questo motivo la sua risposta è stata inclusa all’interno di questa categoria. Si evidenzia inoltre che i settori maggiormente ricorrenti sono prevalentemente quelli alimentare, tessile e automotive che insieme rappresentano oltre il 40% del campione, ma anche abbigliamento, farmaceutico e fabbricazione di macchinari.

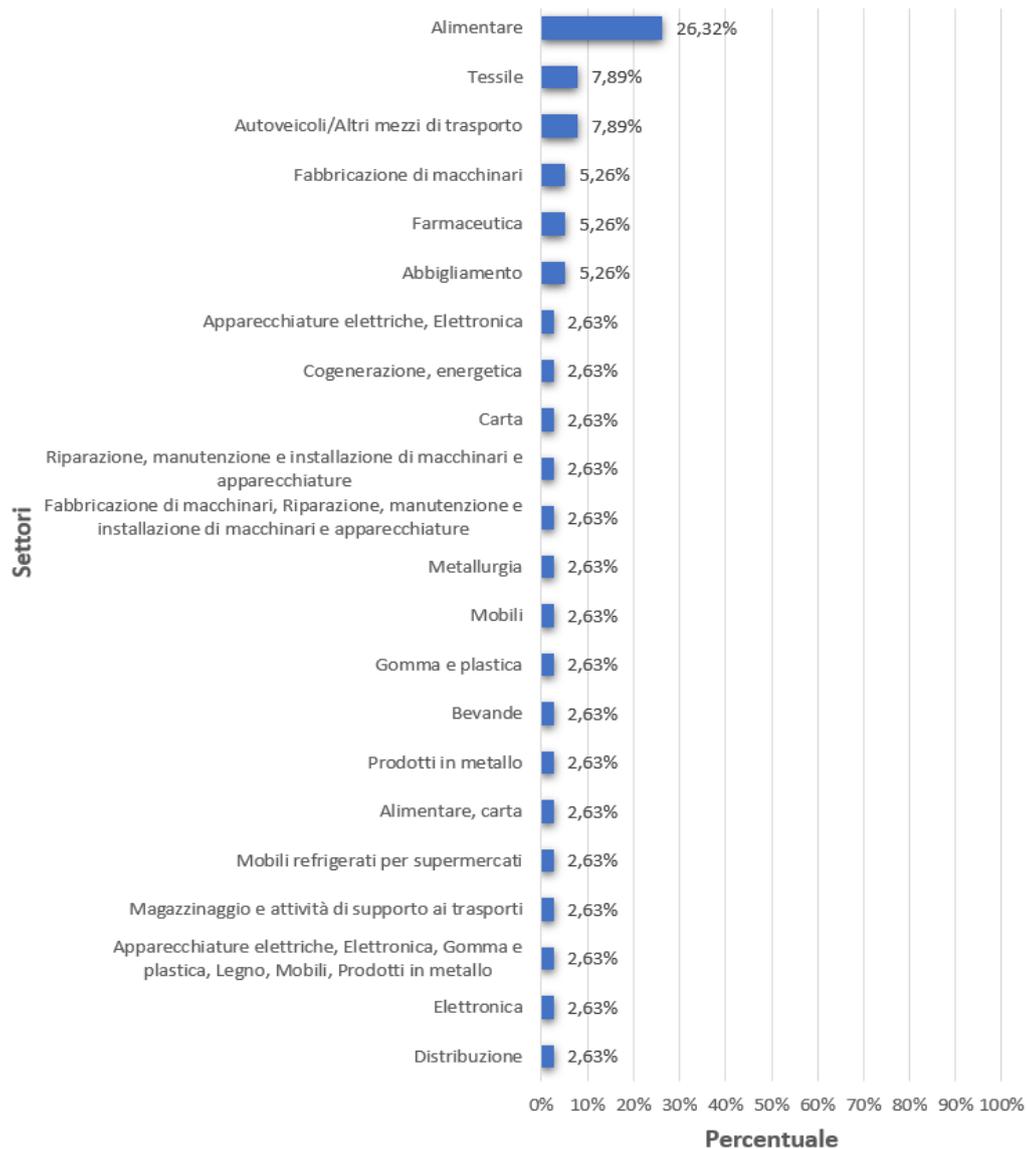


Figura 32 - Settori per cui lavorano i professionisti del questionario "generale"

Per quanto riguarda gli esperti di Lean o automazione, emerge che oltre la metà risulta essere impiegato nel settore della consulenza, come si può osservare in Figura 33. Questo conduce all’ipotesi che molto spesso le aziende tendono a impiegare consulenti esterni

per implementare il Lean Manufacturing o l'automazione, piuttosto che assumere internamente professionisti dedicati. Per quanto concerne l'analisi del dataset, un rispondente ha affermato di lavorare nel settore della "Consulenza manageriale" ed è stato incluso all'interno della categoria "Consulenza" perché si ritiene che possa rappresentarlo comunque in maniera adeguata. Inoltre molte figure qualificate affermano di lavorare in settori relativi al magazzinaggio o alla fabbricazione di macchinari.

Gli esperti che ricadono all'interno dei settori appena citati, rappresentano circa il 76% del campione. La restante porzione è stata inclusa all'interno della categoria "Altro" e racchiude essenzialmente quei professionisti che lavorano all'interno di aziende che appartengono ad altri settori oppure coloro che hanno precisato non solo l'ambito reale di appartenenza della propria azienda, come quello della fabbricazione dei macchinari, ma anche il settore a cui si indirizza l'impresa in cui operano, come quello farmaceutico o dei prodotti metallici.

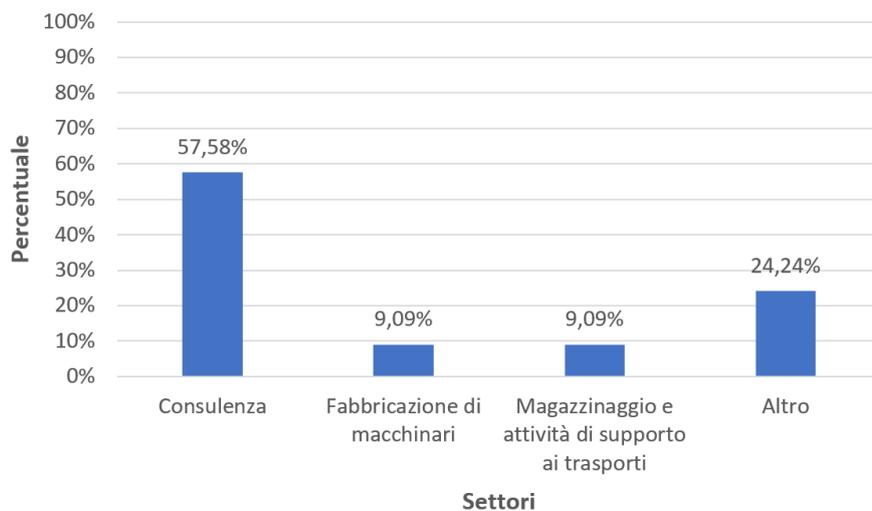


Figura 33 - Settori per cui lavorano i professionisti del questionario dedicato agli esperti

La tendenza ad indicare i settori a cui ci si rivolge piuttosto che l'effettivo settore di appartenenza della propria azienda, si riscontra anche nel questionario dedicato agli sviluppatori di sistemi automatici e per questo motivo la relativa analisi appare meno significativa. Nel paragrafo 4.2 si analizzeranno nel dettaglio i settori maggiormente interessati ad automatizzare i magazzini secondo questa categoria di professionisti, essendo la trattazione maggiormente rilevante per il presente lavoro di tesi.

In Figura 34 si osserva che la quasi totalità dei rispondenti al questionario “generale” lavora principalmente in imprese medio-grandi mentre solo una piccolissima frazione, pari a poco meno del 3% del campione, lavora all’interno di aziende di piccole dimensioni.

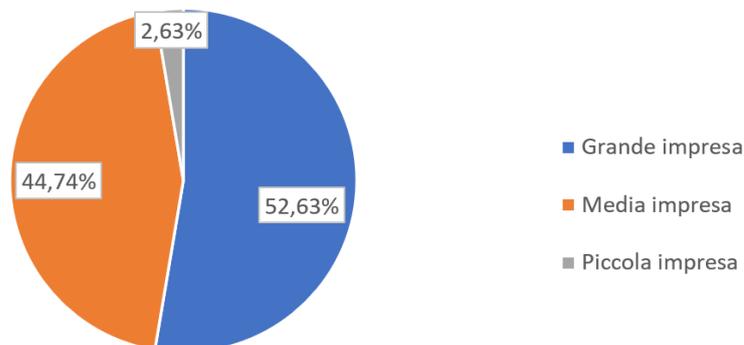


Figura 34 - Dimensione delle imprese per cui lavorano i rispondenti al questionario "generale"

In base alle analisi che verranno condotte successivamente sugli approcci utilizzati, si cercherà di comprendere quale orientamento verso l’automazione si ha nei magazzini in cui lavorano i professionisti intervistati, in modo da verificare se esiste un legame con la dimensione aziendale.

4.2 Analisi sullo stato di applicazione di Lean Manufacturing e automazione

L’obiettivo del presente paragrafo è quello di indagare lo stato di applicazione di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini di imprese manifatturiere di cui hanno conoscenza le figure professionali coinvolte nella ricerca.

Come accennato nel capitolo 3, i soggetti a cui è rivolto il questionario “generale” sono stati selezionati accuratamente per evitare, il più possibile, la situazione in cui non veniva utilizzato alcun approccio di quelli sotto esame, dal momento che l’obiettivo dello studio è comprendere il legame esistente tra di essi.

Nel grafico a torta riportato in Figura 35, si può osservare quali sono gli approcci che vengono adottati prevalentemente nei magazzini delle aziende manifatturiere coinvolte nella ricerca.

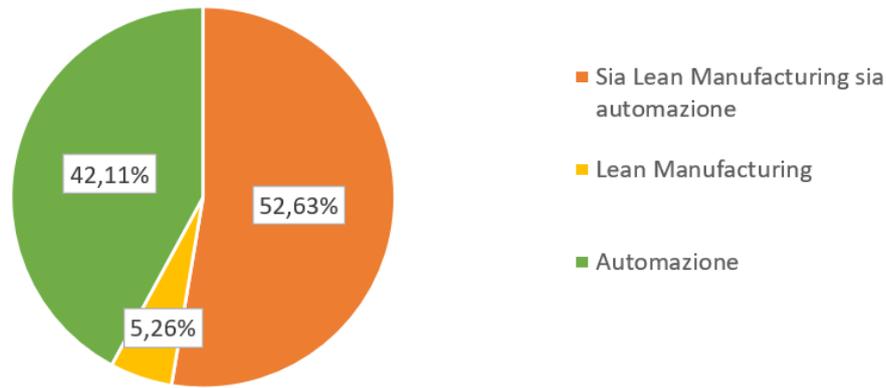


Figura 35 - Applicazione di Lean Manufacturing e automazione in magazzino secondo i rispondenti al questionario "generale"

Come si osserva dalla Figura 35, oltre la maggioranza dei professionisti che ha compilato il questionario afferma che nelle aziende dove sono impiegati, vengono adottati entrambi gli approcci. Tuttavia, alla luce delle risposte ottenute alle domande successive del questionario, risulta che tutti coloro che hanno attestato la presenza della sola automazione nella propria impresa, in realtà, utilizzano almeno uno degli strumenti forniti dal Lean. Questo potrebbe essere sintomo di una conoscenza limitata dei tool relativi alla filosofia Lean, probabilmente dovuta ad una formazione solo parziale impartita ai lavoratori. Un'altra motivazione valida, che spiegherebbe questa contraddizione, si ipotizza essere frutto di una valutazione personale influenzata dall'idea che il Lean Manufacturing sia adoperato occasionalmente o limitatamente rispetto all'automazione, tanto da ritenere che l'unico approccio utilizzato nei propri magazzini, sia solamente l'automazione. In alternativa, si potrebbe ipotizzare che i professionisti che applicano i due approcci abbiano visto adottare la filosofia Lean per ridurre gli sprechi esistenti, al fine di implementare poi l'automazione, e questo potrebbe averli indotti a pensare che l'applicazione di essa sia secondaria o conclusa.

La presenza della sola metodologia Lean è stata individuata dal 5,26% del campione, tuttavia anche in questo caso, analizzando attentamente le risposte ottenute, risulta che i professionisti attestano anche la presenza di alcuni sistemi automatizzati come i magazzini automatici verticali o orizzontali.

Per cui è possibile affermare che l'automazione e il Lean Manufacturing siano presenti in tutti i magazzini in cui lavorano i soggetti coinvolti nell'indagine.

Alla luce di quanto esaminato fino a questo momento, il campione di professionisti individuato per il questionario “generale” ha mostrato alcune evidenze interessanti.

La quasi totalità delle imprese, oggetto di studio, in cui è stata implementata l’automazione risulta essere medio-grande, come si è potuto osservare nel paragrafo 4.1. Dalla pubblicazione di Roodbergen e Vis (2009), emerge che l’introduzione di alcune soluzioni automatizzate potrebbe comportare per le imprese ingenti costi di investimento ed una possibile riprogettazione del layout. Sulla base di ciò che si evince da questo studio, si può ipotizzare che i due aspetti negativi, rintracciati dagli autori, possano essere motivo di disincentivo per le piccole imprese ad investire in sistemi automatici.

Inoltre, molto spesso le aziende di piccole dimensioni potrebbero non ritenere idonea l’automazione per i propri magazzini perché preferiscono mettere in risalto il fattore umano, ponendolo quindi al centro di tutti i processi aziendali. Questa motivazione e gli investimenti da sostenere per introdurre i sistemi automatici conducono le piccole imprese a mostrandosi restie nei confronti dell’automazione [29].

Un ulteriore spunto di interesse per la ricerca è dato dai settori in cui viene applicata l’automazione di magazzino. Si è potuto osservare, nel paragrafo 4.1, l’ampia gamma di settori per cui lavorano i rispondenti al questionario “generale”. Poiché si è constatato che in tutte le aziende in cui operano è presente l’automazione, è possibile confermare quanto osservato nell’analisi della letteratura effettuata nel capitolo 2, ovvero il fatto che questo approccio possa trovare applicazione in molteplici ambiti. A titolo esemplificativo, è possibile citare lo studio di Patitad e Watanabe (2020), relativo al settore della distribuzione dello zucchero, quello di Wu e Huang (2018), riferito al settore del trasporto marittimo e quello di Wang e altri (2010), riguardante il settore dell’e-commerce, dei quali si è discusso nel capitolo 2.

Gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino hanno ulteriormente confermato questa tendenza, come si può osservare in Figura 36, anche se alcuni settori, come quello alimentare, farmaceutico e delle bevande, sono stati citati in misura maggiore.

La maggior parte di coloro che produce automazione, infatti, ha dichiarato che l’applicazione di essa non riguarda un unico settore ma molteplici, se non la quasi totalità di quelli manifatturieri.

Ai fini dell'analisi, poiché un professionista che ha sottomesso il questionario dedicato agli sviluppatori ha indicato il settore automotive come interessato ad introdurre l'automazione, la sua risposta è stata inclusa all'interno della categoria "Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto".

Sono stati individuati inoltre tre rispondenti che hanno dichiarato che le loro imprese si rivolgono a clienti appartenenti a tutti i settori elencati come possibili risposte alla domanda, per questo motivo, si è assunto che avessero selezionato tutte le opzioni presenti in elenco.

Solamente un professionista non ha saputo indicare i settori maggiormente interessati all'automazione di magazzino mentre un altro ha risposto "Industria" senza esplicitare lo specifico ambito di riferimento e per questi motivi le due risposte non sono state considerate.

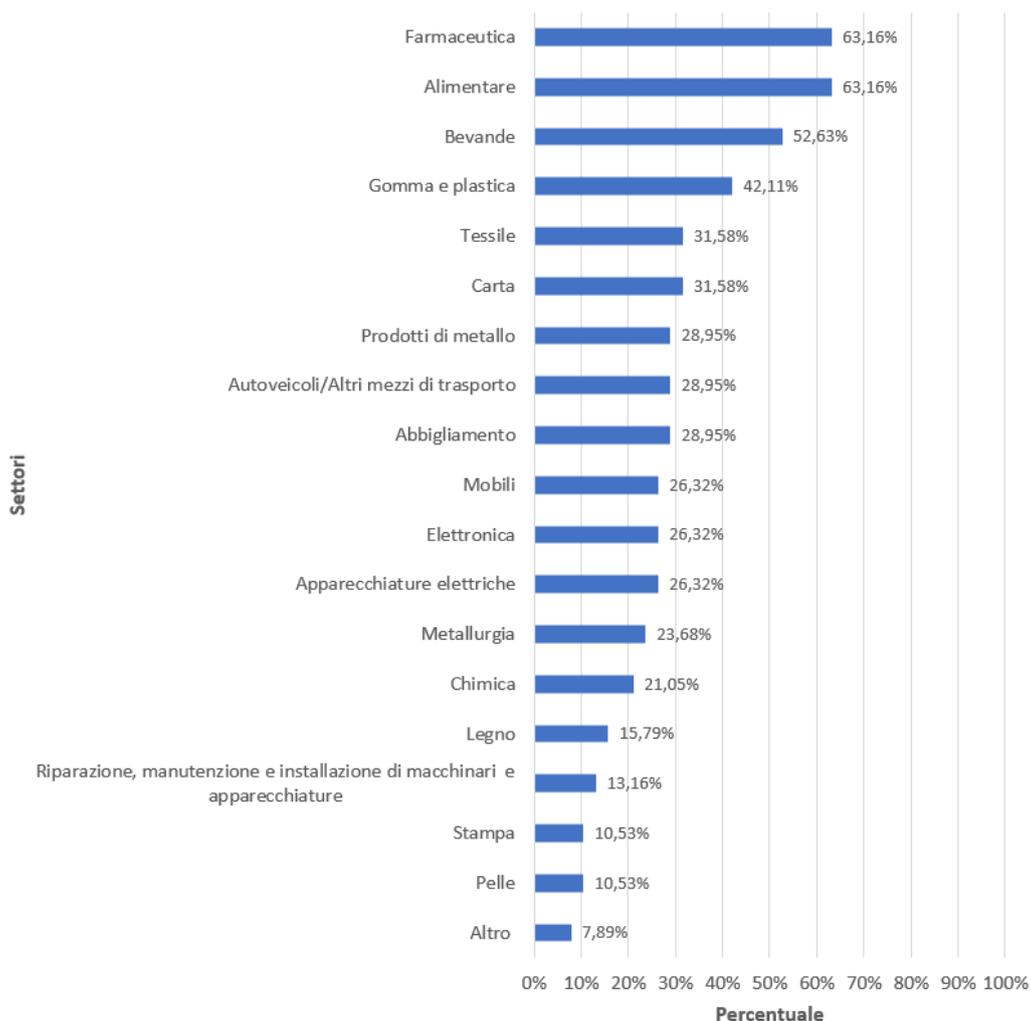


Figura 36 - Settori maggiormente interessati all'automazione di magazzino secondo gli sviluppatori di sistemi automatici

Analizzando ora l'uso dei due approcci oggetto di studio secondo il punto di vista degli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino, sulla base della loro esperienza, si può osservare che essi ritengono che circa un quinto delle imprese manifatturiere non utilizza nessuna delle due metodologie, mentre la porzione restante ne implementa almeno una (Figura 37).

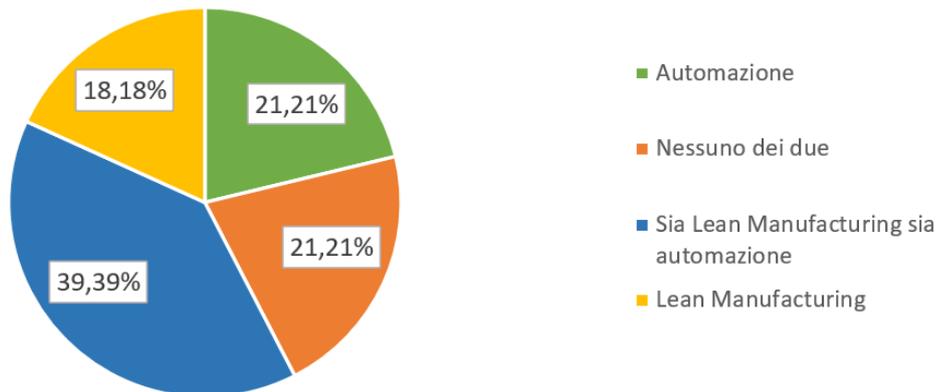


Figura 37 - Applicazione di Lean Manufacturing e/o automazione nei magazzini di imprese manifatturiere secondo i rispondenti al questionario per gli esperti di Lean e/o automazione

Queste prime analisi sembrano suggerire un rilevante orientamento delle imprese verso la metodologia Lean ma anche verso l'automazione, probabilmente alla luce dei benefici che si sperano di ottenere a seguito dell'implementazione, i quali sono stati riconosciuti anche da molti ricercatori che hanno suggerito o facilitato l'adozione dei due approcci nei loro studi, analizzati accuratamente nel capitolo 2 relativo all'analisi della letteratura.

La tendenza verso l'introduzione di sistemi automatici sembra essersi velocizzata in seguito alla pandemia da Covid-19 perché le aziende hanno avuto la necessità di individuare soluzioni che permettessero loro di garantire la continuità aziendale, nonostante l'introduzione di norme relative al distanziamento sociale che hanno rivoluzionato il modo di lavorare in azienda [30]. Un recente sondaggio del 2020, infatti, ha dimostrato che nei cinque anni successivi a quello di indagine, ci si attende il 15% di investimenti in più in automazione di magazzino rispetto alle stime effettuate precedentemente alla pandemia [31].

Al fine di comprendere meglio l'effettiva implementazione dei due approcci, si è cercato di individuare quali fossero gli strumenti del Lean Manufacturing e i sistemi automatici di magazzino maggiormente utilizzati nelle imprese manifatturiere.

In merito alla filosofia Lean, un interessante confronto può essere effettuato tra le risposte ottenute dai rispondenti al questionario "generale" e quelle raccolte dal questionario dedicato agli esperti, in cui si chiedeva quali fossero gli strumenti Lean che possono essere applicati nei magazzini di imprese manifatturiere. In Figura 38 si osserva che gli operatori, i responsabili di magazzino e tutte le figure a cui è stato dedicato il questionario "generale" utilizzano molteplici strumenti offerti dalla filosofia Lean, ma in misura largamente maggiore adottano la standardizzazione del lavoro e in secondo luogo la riduzione degli sprechi, le pratiche 5S, il JIT e il Kanban. Gli strumenti meno utilizzati sono invece il Jidoka e l'Heijunka. Il ridotto utilizzo di questi due strumenti potrebbe essere dovuto alla scarsa conoscenza di tali concetti rispetto agli altri che vengono nominati più frequentemente quando si parla di Lean Manufacturing.

Le figure esperte nei due approcci sotto esame ipotizzano, invece, che si possano adottare tutti gli strumenti Lean, anche se si osserva una prevalenza di risposte rivolte verso il Kanban, le 5S e il principio di riduzione degli sprechi. Considerando che uno dei rispondenti in questione ha indicato come risposta "Tutti", si è ipotizzato che avesse selezionato tutte le opzioni a disposizione.

In linea generale, si osserva che gli esperti di Lean e automazione ritengono che tutti gli strumenti indicati come possibili risposte e rappresentati in Figura 38, possano essere utilizzati nei magazzini di imprese manifatturiere in misura nettamente superiore rispetto alla realtà in cui operano coloro che applicano i due approcci. Questo disallineamento di opinioni, tuttavia, potrebbe essere dovuto semplicemente ad una conoscenza solo parziale dei rispondenti al questionario "generale" rispetto ai tool che vengono adoperati in magazzino e non necessariamente all'effettiva disparità di strumenti che possono essere utilizzati nella pratica all'interno delle imprese manifatturiere.

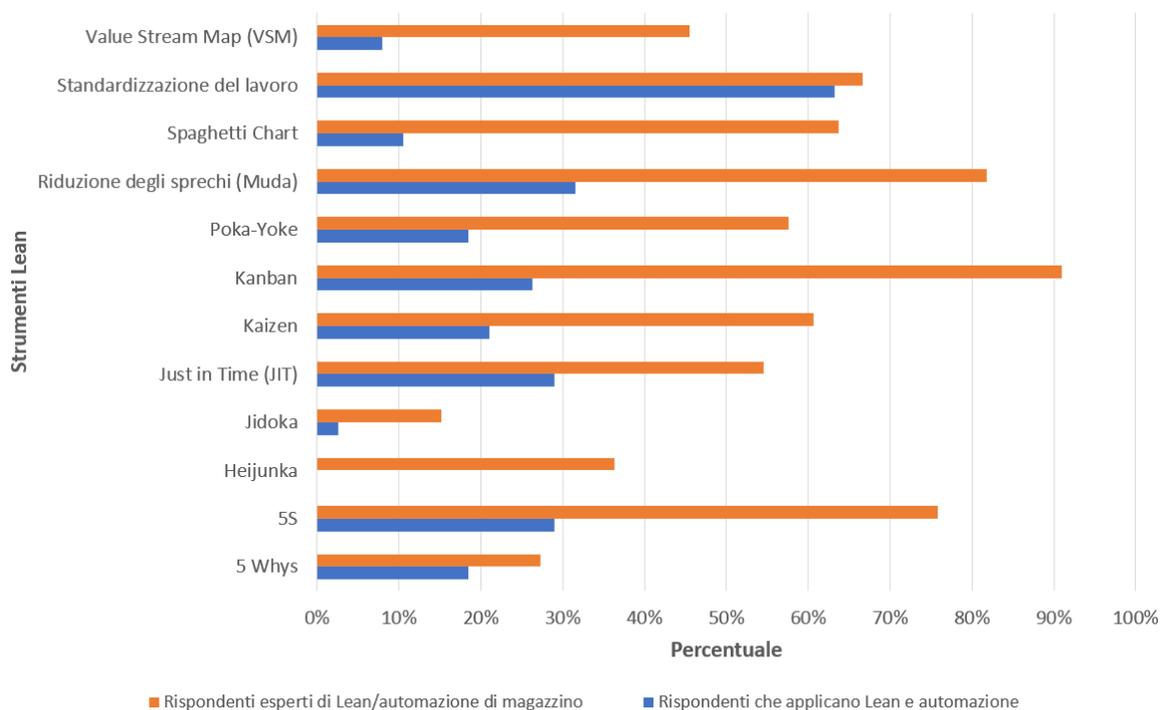


Figura 38 – Strumenti Lean adottati dai rispondenti al questionario “generale” e quelli che potrebbero essere utilizzati nei magazzini secondo gli esperti di Lean e/o automazione

Concentrando ora l’attenzione sull’automazione, in primo luogo, è possibile analizzare le risposte ottenute dagli sviluppatori di soluzioni automatiche, in modo da comprendere quali siano i sistemi maggiormente prodotti nelle aziende in cui lavorano.

In Figura 39 si può osservare che i magazzini automatici serviti da trasloelevatore e quelli automatici verticali o orizzontali sono stati selezionati rispettivamente dal 79% circa e dal 57,9% del campione, il miniload è stato indicato dal 50% di sviluppatori di sistemi automatici mentre l’AutoStore viene prodotto solo dal 10,5% delle aziende in cui lavorano i professionisti. Le risposte ottenute all’interno della categoria “Altro” non sono state considerate ai fini dell’analisi perché non rientravano propriamente tra i sistemi di stoccaggio automatici e per questo sono state escluse.

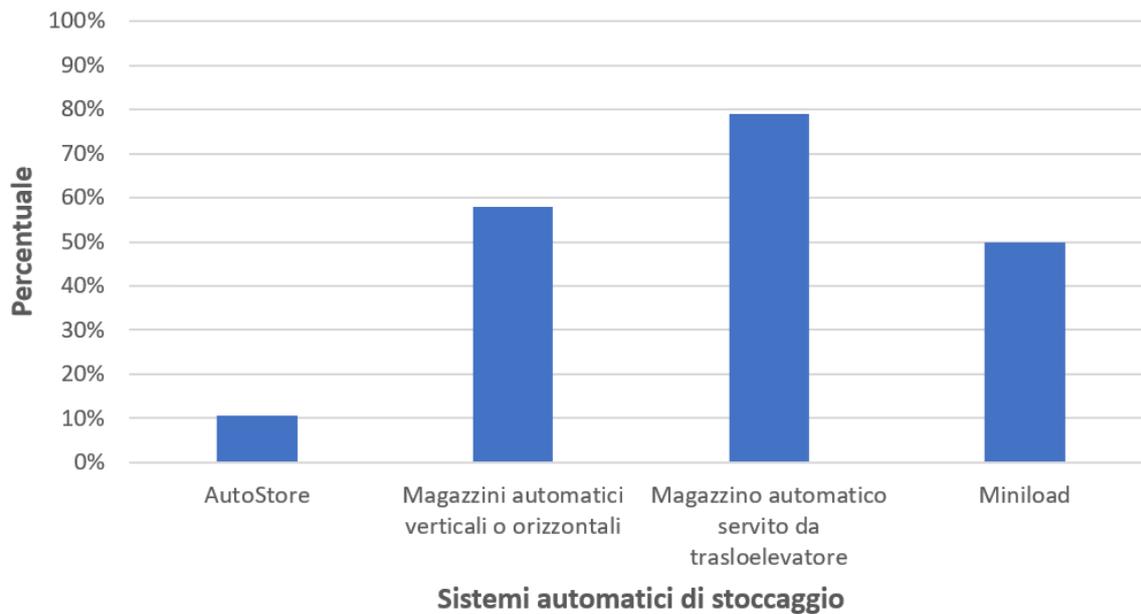


Figura 39 – Sistemi automatici di stoccaggio prodotti nelle aziende per cui lavorano gli sviluppatori di soluzioni automatiche di magazzino

Confrontando i sistemi di stoccaggio prodotti nelle aziende per cui lavorano gli sviluppatori di soluzioni automatiche, si può osservare che l'applicazione di AutoStore sia effettivamente molto ridotta (Figura 40). I magazzini automatici serviti da trasloelevatori sono presenti nelle aziende di oltre l'80% dei rispondenti al questionario "generale" e ciò appare in linea con i risultati ottenuti nel questionario per gli sviluppatori, mentre solamente il 42,4% degli esperti ritiene che questo sistema sia implementato nelle aziende manifatturiere. Rispetto ai magazzini automatici verticali o orizzontali, il 64% degli esperti sostiene che vengano adottati nelle imprese manifatturiere, mentre solo il 39% circa dei professionisti che ha sottomesso il questionario "generale" li utilizza nella pratica.

Il miniload, invece, ha una scarsa diffusione secondo le figure esperte in automazione o Lean Manufacturing mentre circa il 39% di utilizzatori dei due approcci usa questo sistema, che appare quindi implementato con la stessa frequenza riscontrata per i magazzini automatici orizzontali o verticali.

Ai fini delle analisi effettuate sono state escluse alcune risposte inserite di fianco all'opzione "Altro" perché si sono ritenute improprie oppure semplici commenti personali rispetto al tema.

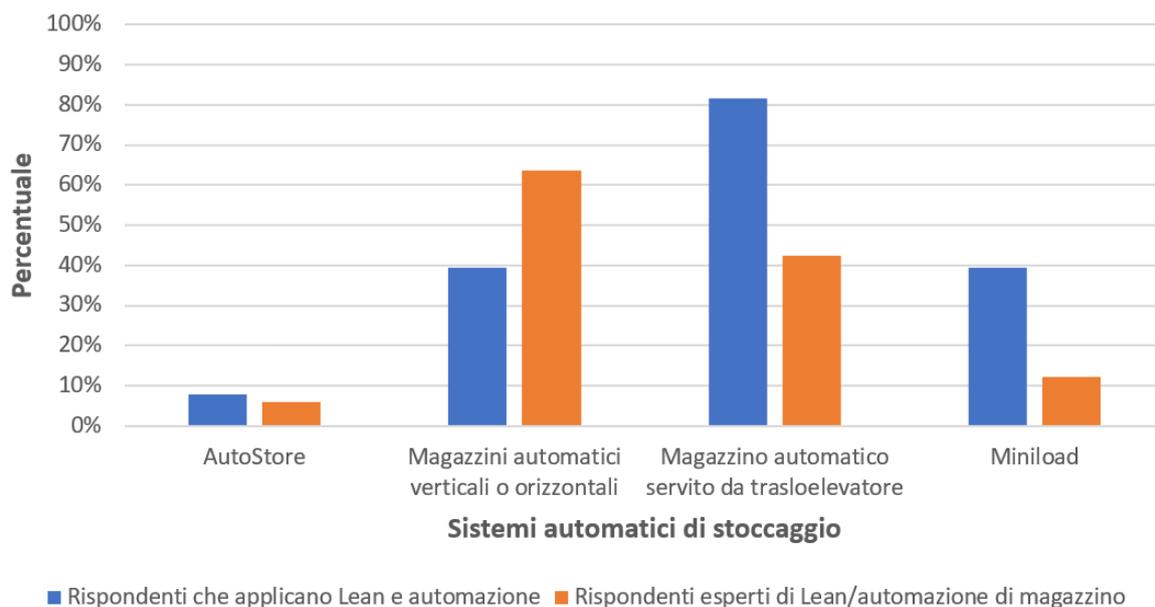


Figura 40 – Utilizzo dei sistemi di stoccaggio automatici secondo i rispondenti che applicano Lean o automazione di magazzino e gli esperti in questi due approcci

Analizzando i sistemi di movimentazione automatici prodotti nelle aziende per cui lavorano gli sviluppatori che hanno partecipato alla survey, si osserva che circa il 60% di essi lavora all'interno di imprese che producono AGV mentre i robot industriali vengono realizzati in misura minore (Figura 41). Inoltre, tra le possibili opzioni di risposta, figuravano anche i robot collaborativi che non sono stati selezionati da alcun rispondente. Esaminando i dati raccolti, è emerso che solo uno sviluppatore di soluzioni automatiche opera all'interno di un'impresa in cui non vengono prodotti sistemi automatici di movimentazione.

Dall'analisi dei commenti personali si evidenzia anche la produzione di trasportatori tra cui quelli aerei, a rulli e a catene, nelle aziende in cui operano e si osserva che alcuni professionisti hanno incluso tra i sistemi automatici di movimentazione prodotti i trasloelevatori, anche se si ritiene più corretto definirli come quei macchinari che servono i magazzini automatici per lo stoccaggio delle merci.

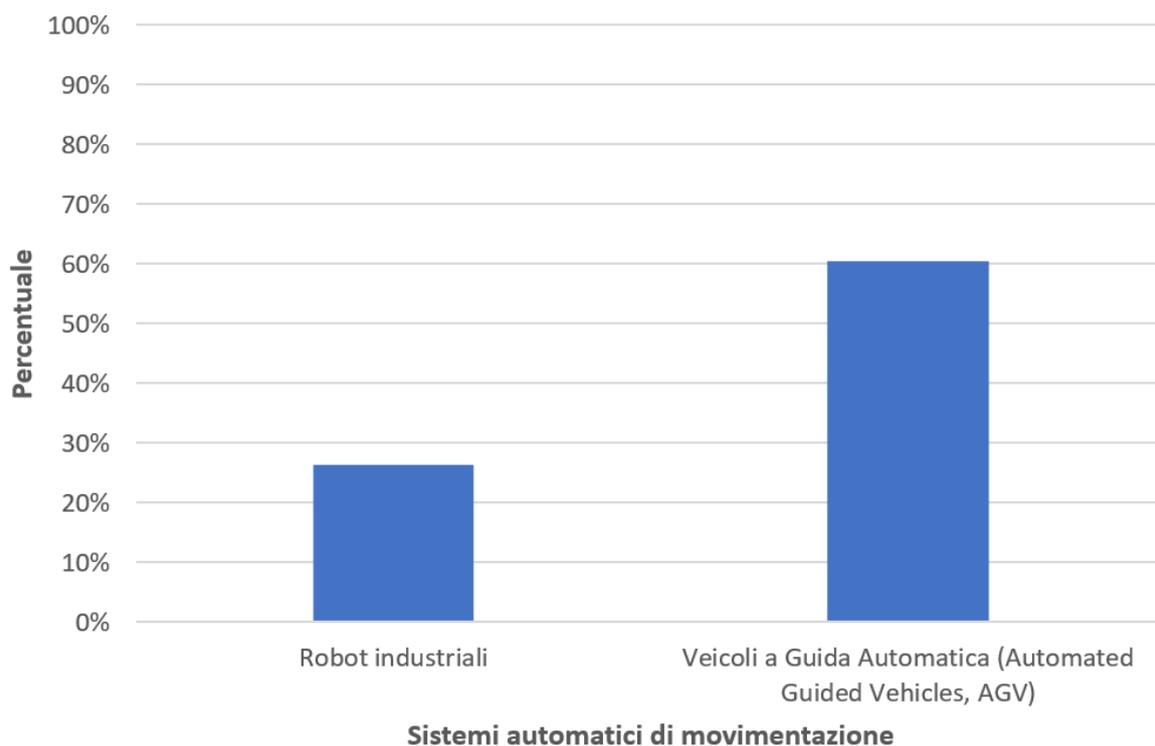


Figura 41 - Sistemi automatici di movimentazione prodotti nelle aziende in cui operano gli sviluppatori di soluzioni automatiche di magazzino

Quasi la metà dei rispondenti al questionario “generale” non utilizza alcun sistema di trasporto automatico: infatti circa il 40% dei professionisti ha dichiarato di utilizzare solo mezzi di movimentazione tradizionali o ha affermato di non utilizzare alcun sistema automatizzato per trasportare le merci. Inoltre, uno di loro ha attestato che nel proprio magazzino vengono utilizzati nastri trasportatori e sorter come mezzi di trasporto automatico. La Figura 42 permette di effettuare un confronto tra le opinioni degli esperti di Lean o di automazione e gli utilizzatori di questi due approcci. In particolare, si osserva che solo una minima porzione di aziende adotta robot collaborativi e ciò appare in linea con quanto si evince dalla Figura 41, dove si era constatato che nessuna impresa in cui lavorano gli sviluppatori di soluzioni automatizzate produce robot collaborativi. Ciò dimostra che l’utilizzo di queste tipologie di robot è ancora molto limitato, probabilmente perché si tratta di una tecnologia abbastanza recente che si è diffusa solo a partire dal 2008 e che presenta ancora ampi margini di miglioramento che le permetteranno di guadagnare quote di mercato nei prossimi anni [32].

I robot industriali risultano presenti in misura maggiore rispetto ai robot collaborativi e ciò emerge dai dati raccolti da entrambi i questionari. Quasi il 70% degli esperti ritiene che nelle aziende manifatturiere si utilizzino gli AGV mentre solo il 39% di coloro che applicano i due approcci utilizza questi sistemi di trasporto.

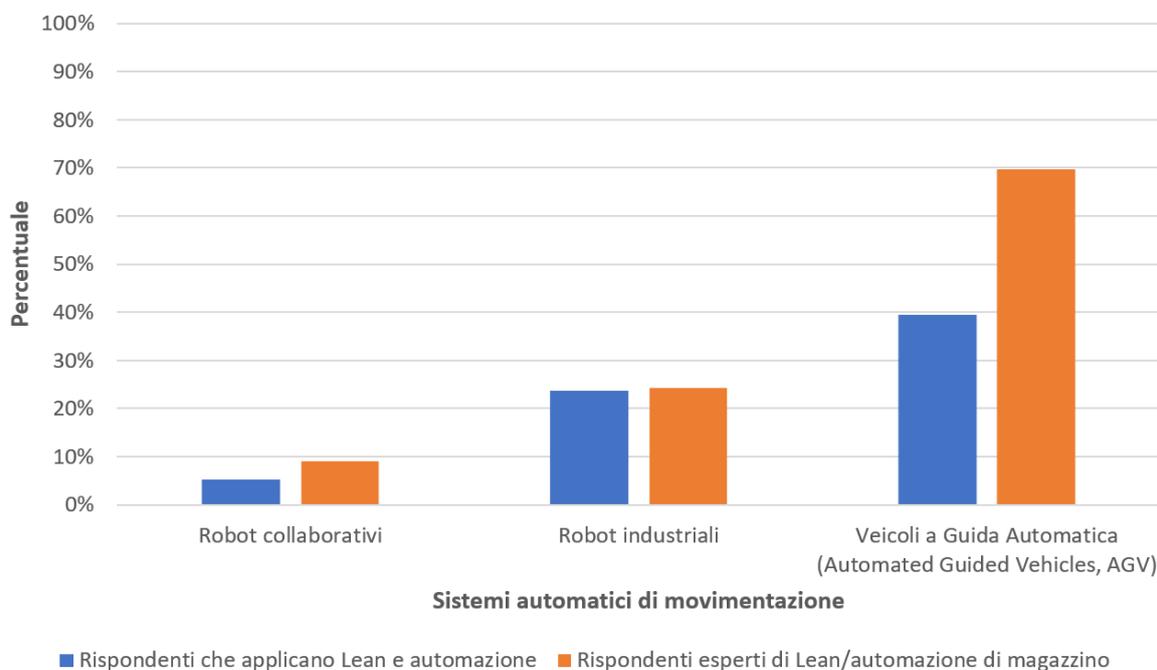


Figura 42 - Sistemi automatici di movimentazione maggiormente impiegati in azienda secondo i rispondenti al questionario "generale" e al questionario dedicato agli esperti di Lean e/o automazione

Si è cercato poi di comprendere verso quali tecnologie a supporto dell'operazione di picking si rivolgessero maggiormente le aziende produttrici di soluzioni automatizzate. Dalla Figura 43 si evince che i sistemi maggiormente prodotti sono i codici a barre e i relativi lettori che vengono realizzati nelle imprese di circa il 74% del campione. Tra gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino, il 45% afferma che vengono prodotti, nell'impresa per cui lavorano, i tag RFID e i relativi lettori e il 37% i sistemi Pick to Light e/o Put to Light. Le altre soluzioni proposte come possibili opzioni di risposta sono ancora poco sviluppate e circa l'8% dei rispondenti ha dichiarato che nelle loro aziende non viene prodotta alcuna tecnologia per supportare l'operazione di prelievo delle merci.

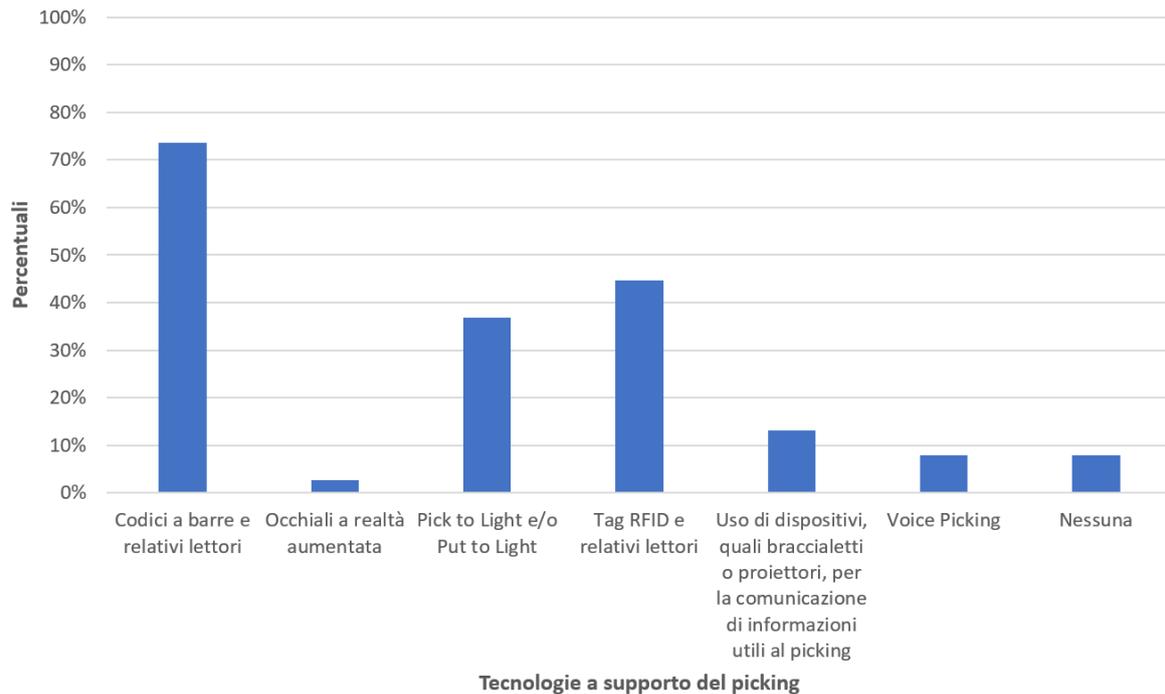


Figura 43 – Tecnologie a supporto del picking prodotte nelle aziende in cui operano gli sviluppatori di soluzioni automatizzate per il magazzino

La maggior predisposizione delle aziende verso l'utilizzo prevalente di codici a barre e relativi lettori si può constatare anche dai dati raccolti dal questionario "generale" e da quello dedicato agli esperti di Lean o automazione (Figura 44). Secondo tutti gli esperti, le aziende manifatturiere adoperano questi strumenti a supporto del picking e il 92,1% dei soggetti che applicano Lean e automazione afferma che questi vengono utilizzati nei magazzini in cui lavorano. I tag RFID e i relativi lettori sono abbastanza diffusi secondo gli esperti mentre si osserva che solo il 5% circa degli utilizzatori di soluzioni automatizzate li usa nella pratica. I sistemi Pick to Light e Put to Light seguono un andamento simile ai tag RFID infatti secondo i professionisti esperti sono molto più diffusi rispetto a quanto riscontrato dalle risposte ottenute dal questionario "generale". Nonostante venga prodotto da poche imprese in cui lavorano gli sviluppatori di soluzioni automatizzate che hanno preso parte alla ricerca, il voice picking è invece utilizzato da circa il 24% di coloro che applicano le due metodologie mentre secondo gli esperti viene utilizzato solo in minima parte. Infine, per quanto riguarda gli occhiali a realtà aumentata e i moderni dispositivi per la comunicazione di informazioni utili al picking, si osserva che nessun esperto ritiene che vengano utilizzati mentre solo una piccola porzione di rispondenti al

questionario “generale” li adopera. Queste ultime tecnologie probabilmente sono poco diffuse perché sono state sviluppate solo negli ultimi anni, i costi sono ancora abbastanza elevati e quindi l’impiego è molto limitato.

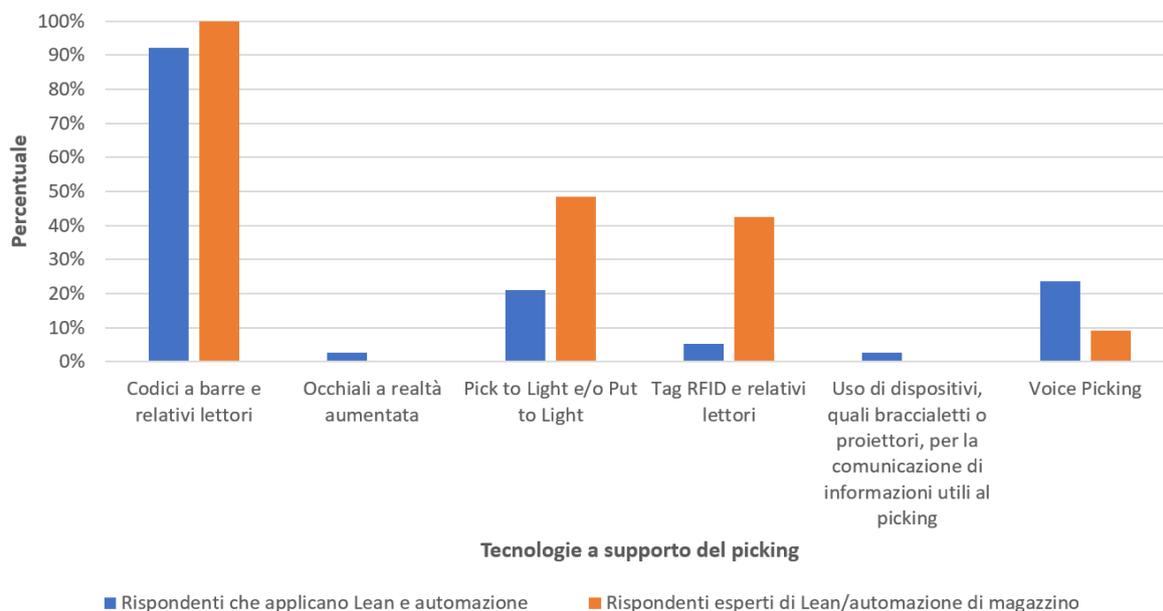


Figura 44 - Tecnologie a supporto del picking adottate nei magazzini secondo i rispondenti esperti di Lean e/o automazione di magazzino e coloro che applicano i due approcci

L’introduzione dell’automazione di magazzino, secondo gli sviluppatori di soluzioni automatizzate, può portare a diversi vantaggi. Come si evince dalla Figura 45, la riduzione dei tempi appare il beneficio più significativo, riconosciuto dalla quasi totalità degli intervistati. La riduzione degli errori umani e l’ottimizzazione degli spazi e delle scorte sono state riscontrate da circa l’80% degli sviluppatori che hanno risposto al questionario a loro dedicato, mentre la miglior gestione dei flussi di materiali è stata sostenuta dal 74% di essi. La riduzione del costo del lavoro e la maggior sicurezza per gli operatori sono state riconosciute rispettivamente dal 57,9% e dal 50% del campione. Il vantaggio meno osservato è stato il miglioramento della risposta alle fluttuazioni della domanda. Un professionista ha inoltre aggiunto, come commento personale, che la presenza di automazione all’interno del magazzino permette un miglioramento dei flussi in e out e l’eliminazione dei turni di lavoro.

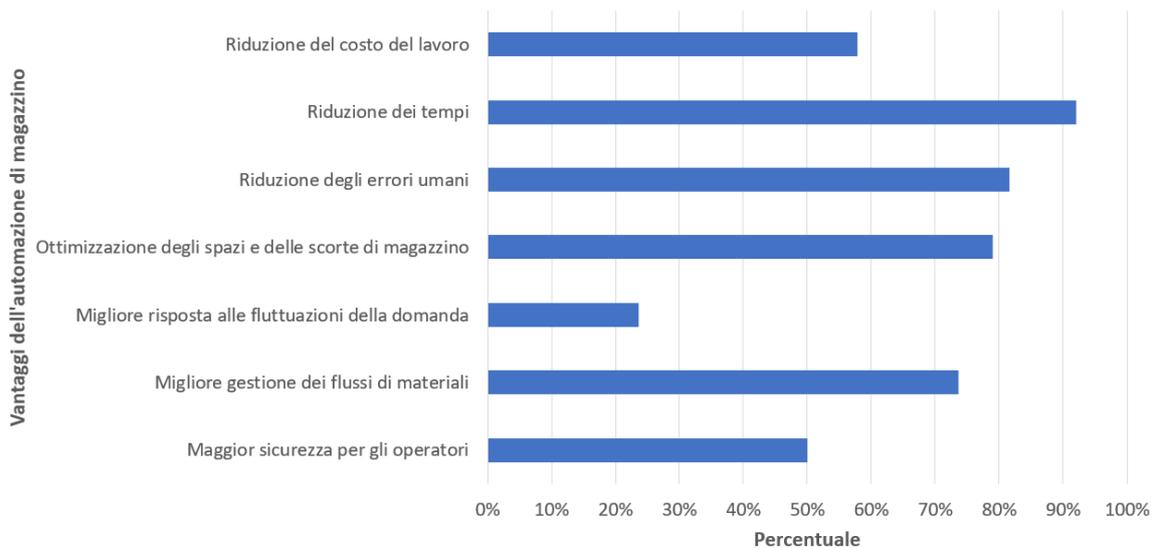


Figura 45 - Vantaggi dell'automazione di magazzino secondo gli sviluppatori di soluzioni automatiche per il magazzino

Tuttavia i sistemi automatici possono comportare anche alcuni svantaggi secondo gli sviluppatori di soluzioni automatizzate (Figura 46). I principali aspetti negativi di questi sistemi sono stati ricondotti alla necessità di addestramento del personale per imparare ad utilizzare sistemi nuovi che non conoscono, agli elevati investimenti richiesti per l'implementazione ma anche alla necessaria riprogettazione del layout. Circa il 26% ritiene che la presenza di automazione conduca ad un aumento dei costi di manutenzione ordinaria e straordinaria mentre solo il 13% circa ipotizza una maggiore sensibilità dei sistemi di trasporto e di stoccaggio automatici alle condizioni ambientali. La maggiore insoddisfazione del personale è stata riscontrata solo dal 5% circa del campione e questo conduce all'ipotesi che gli sviluppatori pensino che i lavoratori comincino ad essere consapevoli dell'aiuto che può essere loro dato dall'automazione per lo svolgimento delle proprie mansioni.

Oltre agli svantaggi inseriti come possibili risposte, nell'opzione "Altro", un rispondente ha dichiarato che l'automazione non comporta alcuno svantaggio mentre due professionisti hanno ipotizzato che l'introduzione di questi sistemi possa condurre ad una riduzione dei posti di lavoro, suggerendo la necessità di prevedere un'opportuna ricollocazione degli operatori per non sminuire il loro operato. L'ultimo aspetto negativo che è stato ipotizzato da uno sviluppatore è la bassa flessibilità dei sistemi automatici perché in caso di bisogno

le modifiche comportano costi elevati e il riutilizzo della componentistica appare complesso.

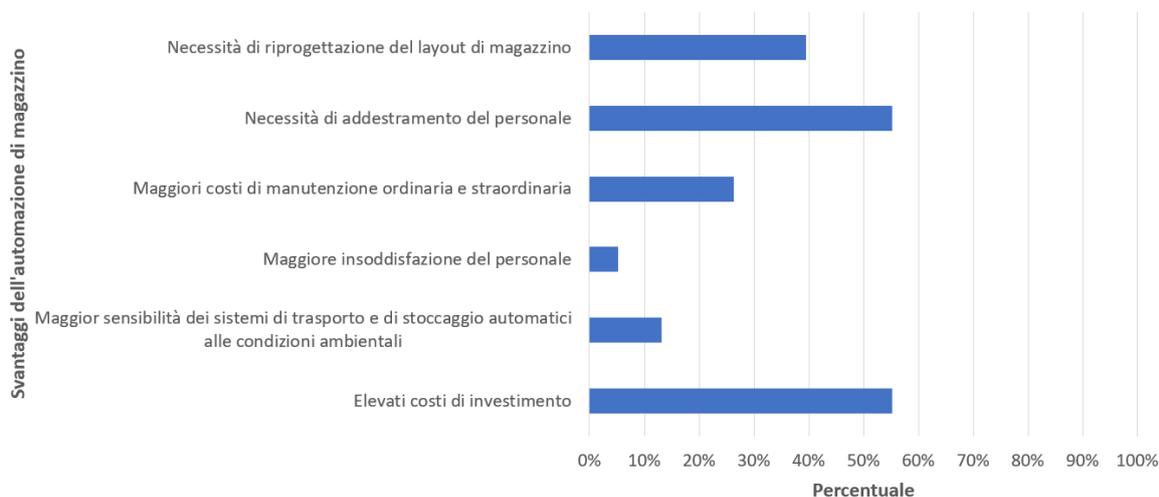


Figura 46 - Svantaggi dell'automazione di magazzino secondo gli sviluppatori di soluzioni automatizzate per il magazzino

Prendendo ora in considerazione i vantaggi e gli svantaggi osservabili o ipotizzabili a seguito dell'uso congiunto di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini è possibile fare un confronto tra le opinioni degli esperti e quelle degli utilizzatori di soluzioni automatiche.

Come si osserva in Figura 47, il miglioramento della risposta alle fluttuazioni della domanda è poco riconosciuto dagli utilizzatori di sistemi automatici ma è maggiormente riscontrabile secondo gli esperti di Lean o automazione. Solo il 60,5% dei rispondenti al questionario "generale" osserva una riduzione degli errori umani a seguito dell'introduzione dei due approcci mentre l'85% circa degli esperti ipotizza che ci sia questo beneficio. Questa differenza potrebbe essere implicata al maggiore coinvolgimento degli utilizzatori di soluzioni automatiche che potrebbero quindi mostrarsi meno propensi al riconoscimento degli errori commessi durante lo svolgimento delle proprie mansioni mentre l'opinione degli esperti potrebbe essere più obiettiva.

La riduzione del costo del lavoro è stata riconosciuta da una percentuale superiore di partecipanti al questionario "generale" rispetto a coloro che hanno preso parte alla survey dedicata agli esperti, probabilmente perché ipotizzano che molto spesso l'automazione

venga adottata dalle imprese principalmente al fine di ridurre i costi del lavoro. Infine la riduzione delle attività non a valore aggiunto è stata ipotizzata da circa il 67% degli esperti nei due approcci mentre solo il 26% dei rispondenti al questionario “generale” riscontra tale beneficio e ciò potrebbe essere dovuto ad una conoscenza teorica limitata di questi ultimi rispetto al significato di attività non a valore aggiunto, frutto di una scarsa formazione impartita al personale rispetto a questa tematica.

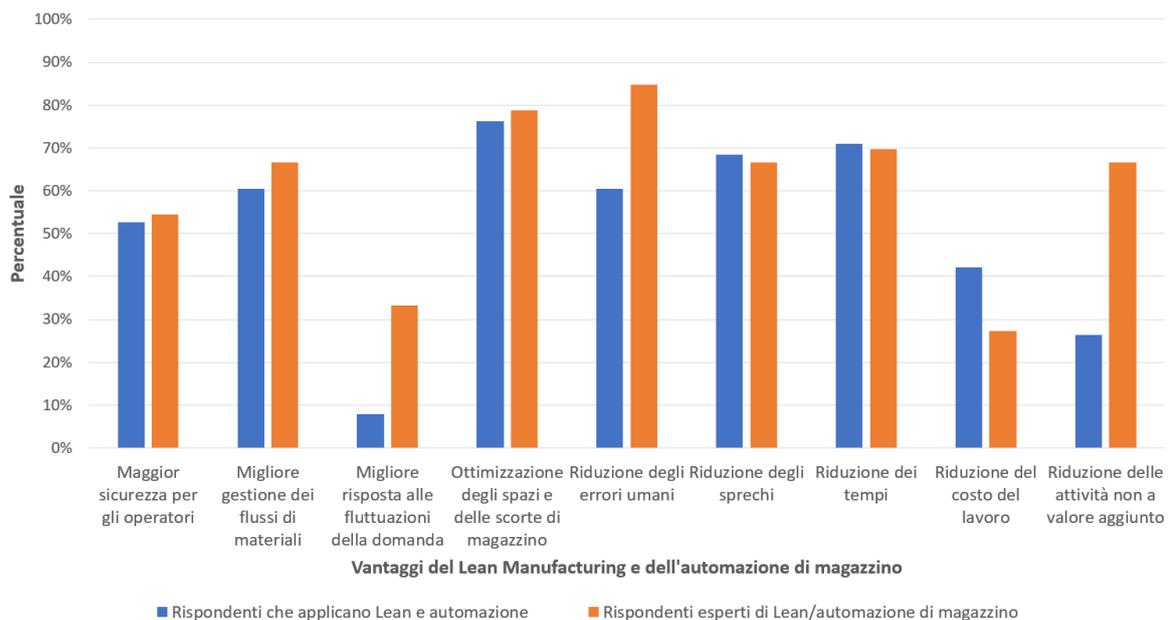


Figura 47 – Vantaggi riscontrabili o ipotizzabili a seguito dell’implementazione di Lean e automazione ai magazzini secondo i rispondenti che applicano i due approcci e gli esperti

In termini di svantaggi, come si evince dalla Figura 48, le opinioni delle due categorie di intervistati differiscono in maniera evidente principalmente rispetto a tre tematiche: i costi di investimento, quelli di manutenzione ordinaria e straordinaria e la necessità di addestramento del personale. In particolare, gli ampi scostamenti osservati rispetto ai costi dei sistemi automatici potrebbero essere dovuti ad una differente percezione dell’impatto economico di questi sistemi secondo le due categorie di professionisti coinvolti. In merito alla necessità di addestramento del personale, il 68% circa di coloro che applicano Lean e automazione ritiene che sia un aspetto negativo, contro il 42% circa di esperti. Ciò potrebbe essere implicato da una percezione superiore dei soggetti che applicano i due approcci di doversi adoperare per imparare ad utilizzare nuovi sistemi. Tra

gli esperti, alcuni hanno fatto dichiarazioni personali indicando tra gli svantaggi l'aumento del divario competitivo, un maggiore irrigidimento del sistema, la necessità di un adeguamento dello stile di management ma anche una riduzione della forza lavoro degli operatori e due di loro hanno affermato che non ipotizzano aspetti negativi se l'implementazione viene eseguita correttamente e seguendo un piano ben studiato per raggiungere gli obiettivi aziendali. Inoltre, un rispondente al questionario "generale" ha constatato che l'impiego di uno dei principali strumenti del Lean Manufacturing, ovvero il JIT, ha mostrato i suoi limiti durante la pandemia da Covid-19, a causa della carenza di materie prime che si è presentata. Quest'ultimo commento appare in linea con quanto visto nell'articolo di Tissir e altri (2020), descritto nel capitolo dedicato all'analisi della letteratura.

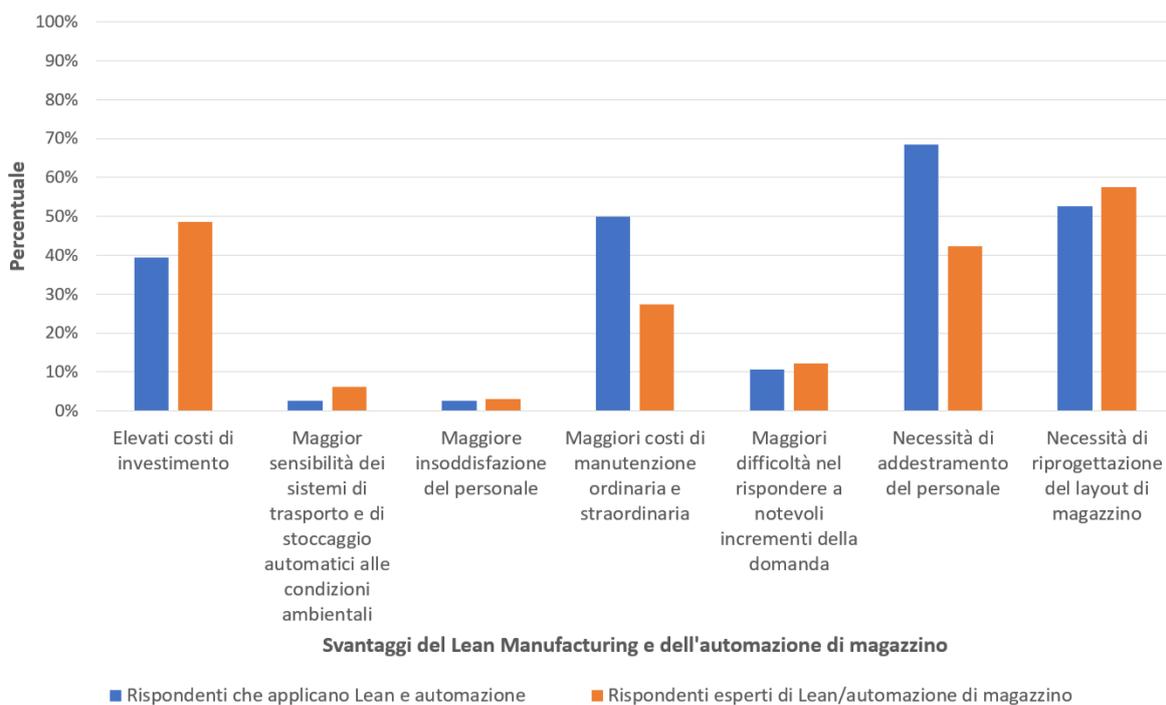


Figura 48 – Svantaggi riscontrabili o ipotizzabili a seguito dell'implementazione di Lean e automazione ai magazzini secondo i rispondenti che applicano i due approcci e gli esperti

4.3 Le operazioni di magazzino impattate positivamente da Lean Manufacturing e automazione

L'obiettivo del presente paragrafo è quello di mettere a confronto le figure professionali coinvolte nella ricerca, al fine di comprendere, secondo la loro opinione, le operazioni di magazzino a cui possano essere applicati il Lean Manufacturing e l'automazione, in modo da verificare quali siano le attività su cui si può ipotizzare oppure osservare un impatto positivo.

In primo luogo si è cercato di comprendere a quali operazioni si può applicare il Lean Manufacturing. Come si può osservare in Figura 49, tutte le principali attività che vengono svolte in magazzino sono state selezionate sia da coloro che hanno preso parte al questionario "generale" e sia dagli esperti di Lean o automazione. La ricezione e il prelievo delle merci sono le due attività riconosciute come migliori candidate per l'applicazione della filosofia Lean, anche se ciò viene constatato da una percentuale inferiore di rispondenti al questionario "generale". Per ogni operazione, almeno il 60% degli esperti riconosce la possibile applicabilità dell'approccio Lean, probabilmente alla luce delle conoscenze personali ed esperienze pregresse sul tema. Questa tendenza all'adozione dei principi e strumenti Lean appare evidente anche dai commenti rilasciati da alcuni di loro, i quali hanno constatato che l'applicazione di questi concetti possa avvenire anche per le attività amministrative di magazzino e che il Lean Manufacturing possa essere applicato potenzialmente a qualsiasi processo logistico, così come l'automazione, a patto di intervenire preliminarmente sul processo esistente, eliminando prima gli sprechi e poi inserendo l'automazione in un processo ottimizzato. Considerando che due esperti hanno affermato che la filosofia Lean possa essere applicata a tutte le operazioni, si è ipotizzato che avessero selezionato tutte le possibili opzioni di risposta.

Gli utilizzatori di sistemi automatici, invece, vedono una minor applicabilità dell'approccio Lean rispetto agli esperti e ciò è reso maggiormente evidente dalle percentuali di risposta che si sono ottenute per l'imballaggio, il controllo dell'inventario e la spedizione. Questo potrebbe essere dovuto ad una conoscenza solo parziale sul tema rispetto a ciò che può

offrire il Lean Manufacturing e forse con un'adeguata formazione, si potrebbe ottenere un maggiore riconoscimento in termini di applicabilità.

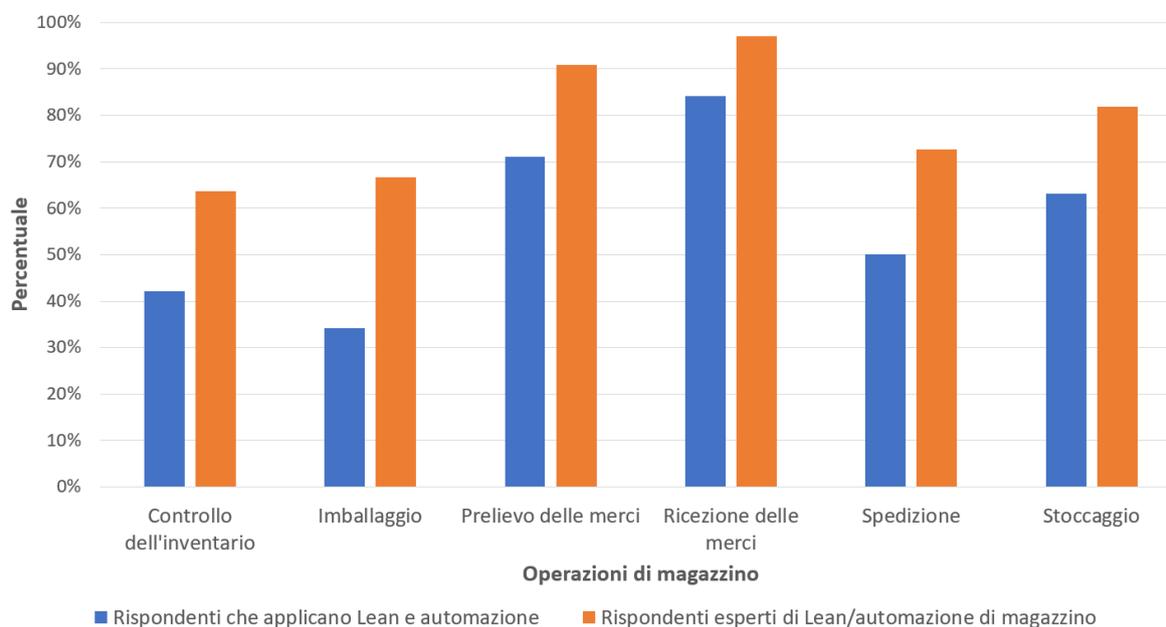


Figura 49 - Operazioni di magazzino in cui si può applicare o viene applicato il Lean Manufacturing secondo i rispondenti al questionario "generale" e gli esperti di Lean e/o automazione di magazzino

Secondo i professionisti che lavorano ogni giorno in magazzino e gli esperti di Lean o automazione, il Lean Manufacturing può avere impatti positivi su tutte le operazioni, anche se per alcune in misura superiore (Figura 50). La ricezione, il prelievo e lo stoccaggio delle merci sono le attività sulle quali l'approccio sembra avere gli effetti maggiormente significativi. Emerge che per ciascuna attività, almeno il 64% circa di esperti ritiene che ci sia un impatto positivo a seguito dell'introduzione della filosofia Lean. Per l'analisi delle risposte degli esperti si è attuata una correzione al dataset, poiché uno di loro ha dichiarato che il Lean Manufacturing può apportare miglioramenti a tutte le operazioni, si è ipotizzato che avesse selezionato tutte le possibili risposte. Un rispondente al questionario dedicato agli esperti, inoltre, ha sostenuto che oltre alle operazioni indicate come possibili alternative di risposta, si potrebbero ottenere benefici anche per le attività di tracciatura e di controllo qualità. I soggetti che applicano Lean e automazione, invece, sono meno propensi a ritenere che ci siano effetti positivi in tutte le attività, in particolare nel controllo dell'inventario e nell'imballaggio si ottengono percentuali a favore di questa ipotesi

attorno al 31-34% del campione. Questa tendenza però potrebbe essere frutto di un utilizzo ridotto del Lean Warehousing per la gestione di queste due operazioni, magari giudicate una fonte meno evidente di sprechi e inefficienze rispetto alle altre attività di magazzino, da coloro che applicano Lean e automazione. Questo potrebbe averli condotti a ritenere che ci siano minori benefici in esse. Infine, un rispondente al questionario “generale” non ha saputo indicare in quali attività si possono ipotizzare dei miglioramenti a seguito dell’introduzione della filosofia Lean.

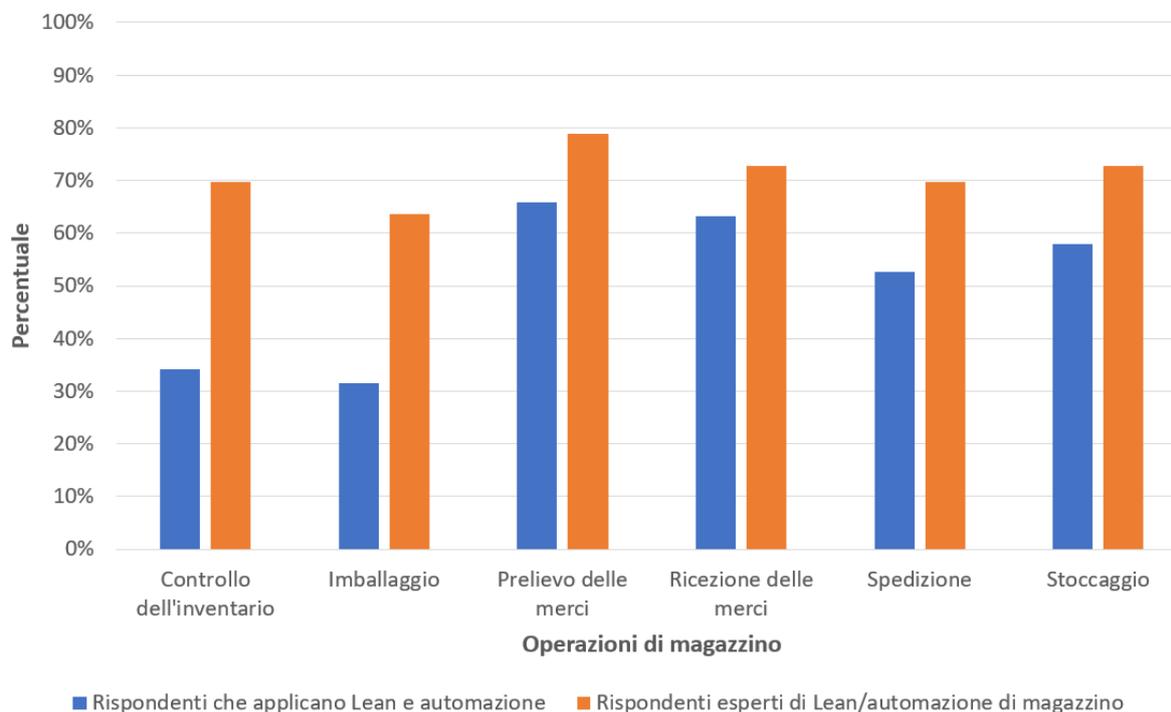


Figura 50 – Operazioni di magazzino migliorate a seguito dell'introduzione del Lean Manufacturing secondo i rispondenti al questionario “generale” e gli esperti di Lean e/o automazione di magazzino

Si è cercato, inoltre, di comprendere secondo tutte le figure professionali coinvolte nella ricerca a quali operazioni potesse essere applicata l’automazione. Dal confronto tra le tre categorie presentate in Figura 51, emerge che le due attività più idonee sono il prelievo delle merci e lo stoccaggio. L’introduzione di soluzioni automatiche appare meno rilevante nelle restanti attività secondo i rispondenti al questionario “generale”, infatti si osserva una percentuale inferiore al 50% per ciascuna possibile opzione di risposta. Sia gli esperti nelle due tematiche oggetto di studio sia gli sviluppatori di sistemi automatici ritengono in maggioranza che il controllo dell’inventario e l’imballaggio possano comunque essere

interessati dall'automazione mentre la ricezione delle merci e la spedizione in misura minore. Alcune operazioni potrebbero essere state selezionate maggiormente perché sono quelle in cui l'automazione, fino a questo momento, ha avuto un'applicazione superiore, tuttavia, ciò non certifica che applicandola anche ad altre attività non possa comunque avere esiti positivi.

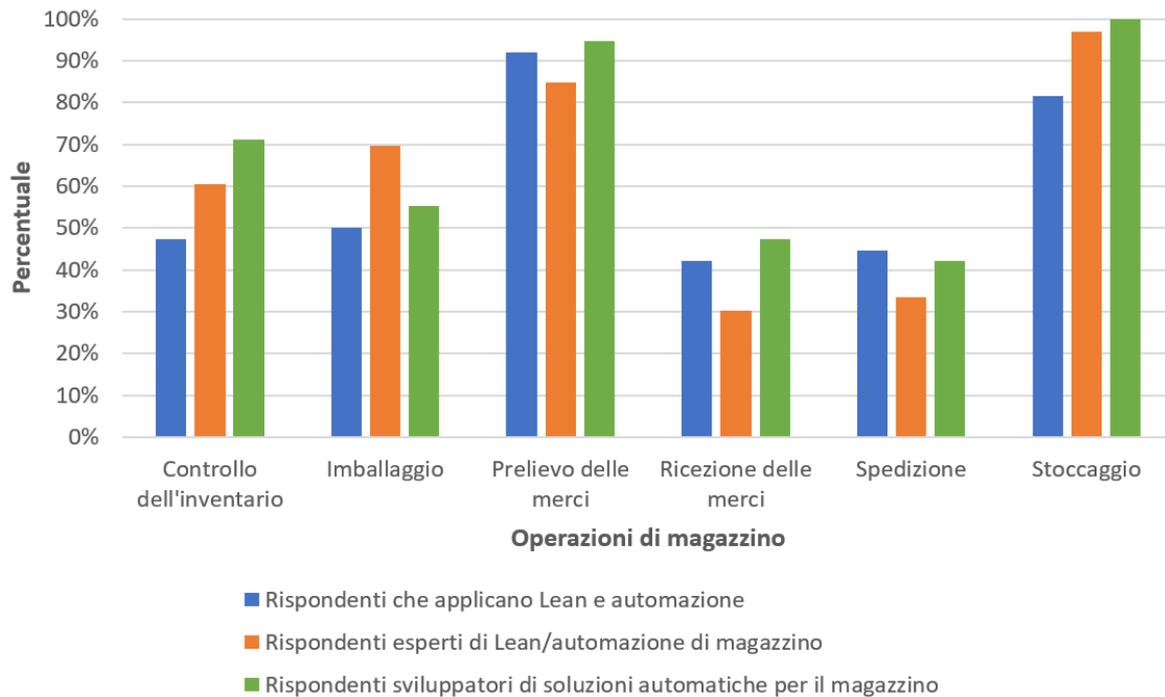


Figura 51 - Operazioni di magazzino in cui si può applicare l'automazione secondo i rispondenti ai tre questionari

Secondo le figure professionali che hanno risposto ai tre questionari, le operazioni che traggono maggiori benefici dall'automazione sono il prelievo delle merci e lo stoccaggio (Figura 52). L'introduzione di soluzioni automatizzate per gestire l'attività di imballaggio impatta positivamente su di essa secondo il 64% circa degli esperti mentre oltre la maggioranza di rispondenti agli altri due questionari ritiene che i benefici siano molto limitati. Il controllo dell'inventario può essere migliorato a seguito dell'introduzione dell'automazione secondo il 64% circa degli esperti, il 71% circa degli sviluppatori e il 45% di coloro che applicano i due approcci mentre per la ricezione delle merci si osservano percentuali simili, tra le tre categorie di figure qualificate, che si attestano tra il 37% e il 42%. Infine, la spedizione sembra essere impattata positivamente dall'automazione

secondo la metà dei professionisti che applicano Lean o automazione mentre i soggetti che hanno sottomesso gli altri due questionari sembrano ipotizzare meno benefici su questa attività. Secondo un esperto inoltre l'automazione può avere effetti positivi anche sulle attività di controllo qualità e tracciatura mentre un altro ha dichiarato che si attende di vedere benefici su tutte le operazioni, per cui si è ipotizzato che avesse selezionato tutte le opzioni di risposta a disposizione.

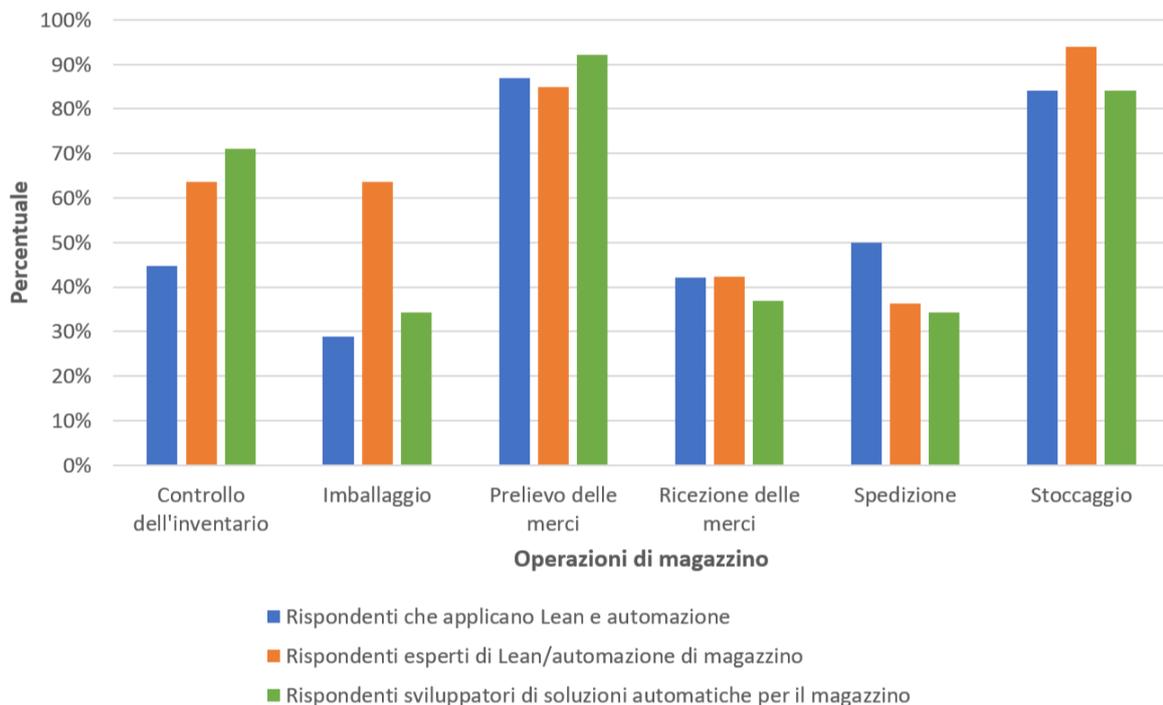


Figura 52 - Operazioni di magazzino in cui si possono osservare benefici in seguito all'introduzione dell'automazione secondo i rispondenti ai tre questionari

L'obiettivo del presente lavoro di tesi è quello di comprendere il tipo di relazione esistente tra Lean Manufacturing e automazione e per questo motivo si è cercato di indagare, secondo i professionisti coinvolti nella ricerca, a quali attività di magazzino si possono applicare in maniera congiunta. Come si evince dalla Figura 53, le opinioni di coloro che mettono in pratica entrambi i metodi e gli esperti di questi due approcci si discostano in maniera non netta. Le operazioni che sembrano maggiormente adeguate all'utilizzo congiunto di questi due approcci sono lo stoccaggio e il prelievo delle merci. L'attività in cui Lean e automazione sembrano avere meno seguito, invece, è la spedizione. Ciò potrebbe essere frutto di un utilizzo ridotto delle due metodologie per la gestione di

questa operazione. Solo un partecipante al questionario “generale” ha affermato che, secondo la sua opinione, i due approcci non possono essere applicati congiuntamente ad alcuna operazione mentre tutti gli altri professionisti sembrano propensi a ritenere valido l'utilizzo di entrambi ad almeno un'attività di magazzino.

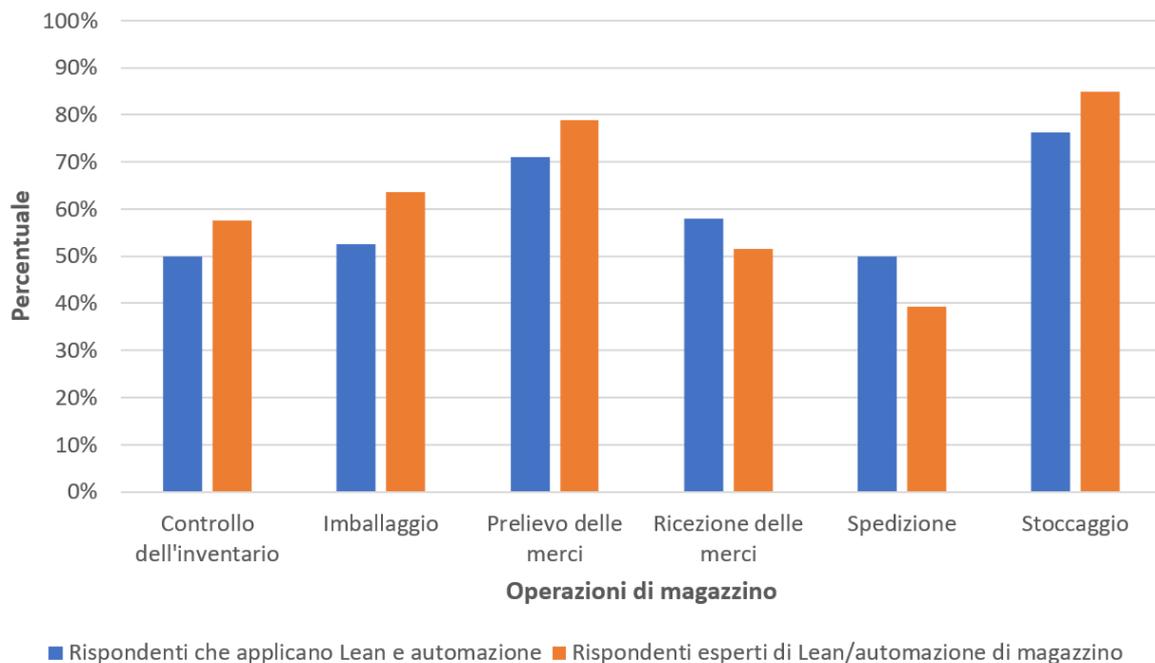


Figura 53 - Operazioni di magazzino a cui possono essere applicate in maniera congiunta Lean e automazione secondo i rispondenti al questionario "generale" e a quello per gli esperti

L'applicazione congiunta di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini di imprese manifatturiere sembra avere impatti positivi su tutte le operazioni anche se non in uguale misura (Figura 54). In particolare gli esperti di Lean o automazione sembrano essere maggiormente convinti del potenziale di questi due approcci se applicati in maniera congiunta e ciò appare molto evidente nelle operazioni di stoccaggio e nel prelievo delle merci. Uno degli esperti ha ritenuto che l'applicazione congiunta di questi due approcci possa avere effetti positivi su tutte le operazioni e per questo si è ipotizzato che avesse selezionato tutte le opzioni di risposta possibili. Coloro che applicano Lean e automazione invece sembrano riconoscere meno benefici, con percentuali di risposta che si aggirano attorno al 45-63% per le diverse alternative selezionabili, mentre due di loro hanno ammesso di non sapere in quali operazioni si possono ottenere miglioramenti. Questa tendenza potrebbe essere dovuta semplicemente ad una difficoltà di alcuni rispondenti al

questionario “generale” nel determinare i reali benefici che potrebbero emergere a seguito dell’adozione di questi due approcci perché potrebbero non avere a disposizione tutti gli strumenti per poter eseguire una corretta valutazione.

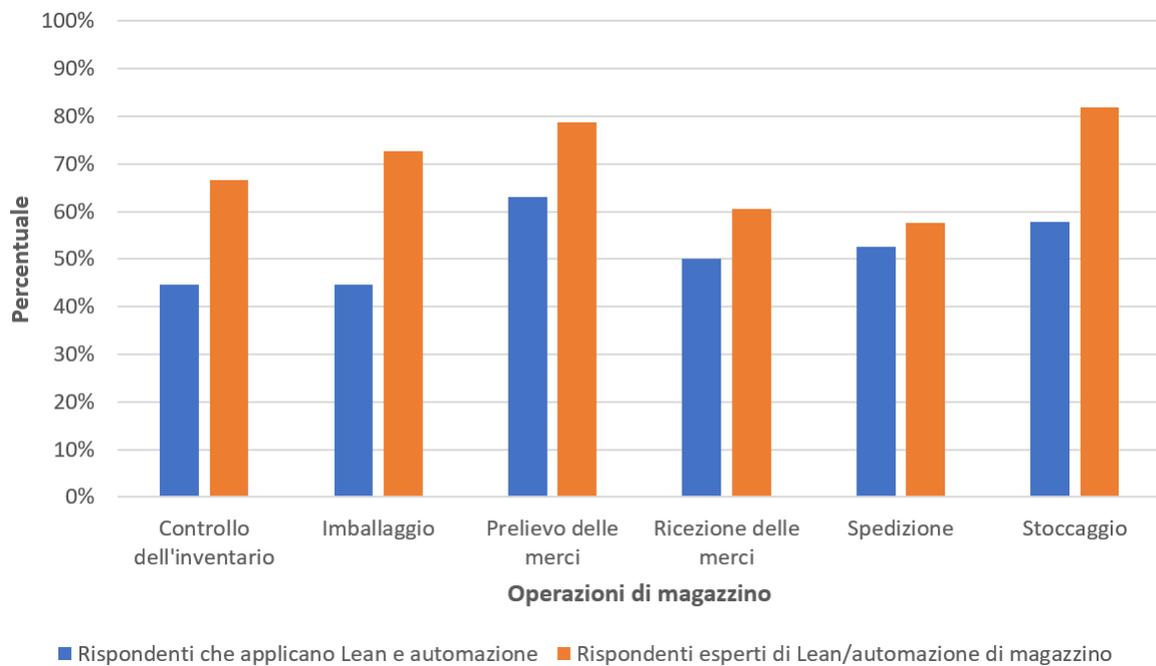


Figura 54 - Operazioni di magazzino che beneficiano dell'applicazione congiunta di Lean e automazione secondo i rispondenti al questionario "generale" e a quello per gli esperti

4.4 Le motivazioni e le tempistiche di implementazione di Lean e automazione ai magazzini

Secondo il report pubblicato nel 2021 dall’azienda Accenture, le tre motivazioni principali che spingono le imprese verso l’automazione di magazzino sono i vincoli di disponibilità della manodopera che in alcuni casi potrebbe avere impedimenti che non consentono il regolare svolgimento dei processi logistici, la possibilità di velocizzare e gestire meglio le attività e i volumi, ma anche la necessità di seguire i requisiti imposti dal business. Ad esempio, il desiderio di consegnare valore di maggiore impatto e di lungo termine, potrebbe essere uno dei requisiti che conduce le imprese verso la rivalutazione e la trasformazione del proprio magazzino [31].

Nel presente paragrafo si andrà quindi ad indagare quali motivazioni possono spingere le imprese manifatturiere verso l'introduzione di Lean Manufacturing o automazione nelle operazioni di magazzino e le tempistiche di implementazione di questi due approcci secondo tutti i partecipanti alla survey oggetto del presente elaborato.

Secondo il campione di professionisti che ha partecipato all'indagine, emergono alcune motivazioni che spingono maggiormente le imprese verso l'automazione (Figura 55). L'89% circa di sviluppatori di soluzioni automatiche ritiene che la motivazione principale che spinge le imprese verso questo approccio sia la maggiore velocità nello svolgimento delle operazioni di magazzino, seguita dalla possibilità di stoccare un maggior quantitativo di merci in minor spazio che è stata selezionata dal 76% circa di essi. Anche i rispondenti al questionario "generale" ritengono che la possibilità di velocizzare le attività sia la motivazione che spinge maggiormente verso l'introduzione di soluzioni automatizzate anche se, quasi in egual misura, vengono riconosciute come valide motivazioni anche la possibilità di stoccare un quantitativo superiore di merci in uno spazio inferiore, la maggiore accuratezza con cui compiere le attività e la necessità di ridurre errori umani e infortuni sul lavoro. Gli esperti, invece, ritengono che la causa principale che spinge verso l'automazione sia l'efficienza di stoccaggio in uno spazio ridotto. La maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda e la maggiore garanzia di qualità per i clienti presentano andamenti simili rispetto alle tre categorie di professionisti sotto esame. I soggetti che applicano Lean e automazione, infatti, riconoscono queste opzioni come motivazioni che possono spingere verso l'introduzione di sistemi automatici in misura maggiore rispetto agli sviluppatori di tali sistemi e agli esperti in questi due approcci. La riduzione di merce danneggiata appare la spiegazione meno valida per introdurre l'automazione, con percentuali di risposta, per categoria di professionisti, che si aggirano tra il 13% e il 16%. Come commenti personali, uno sviluppatore di sistemi automatici ha infine ipotizzato che la possibilità di gestire ottimamente tutte le referenze sia una valida motivazione che può condurre le aziende verso l'introduzione dell'automazione, mentre un esperto dei due approcci sotto esame sostiene che anche il controllo integrato di tutte le informazioni può essere una ragione tale da spingere le aziende verso l'automazione.

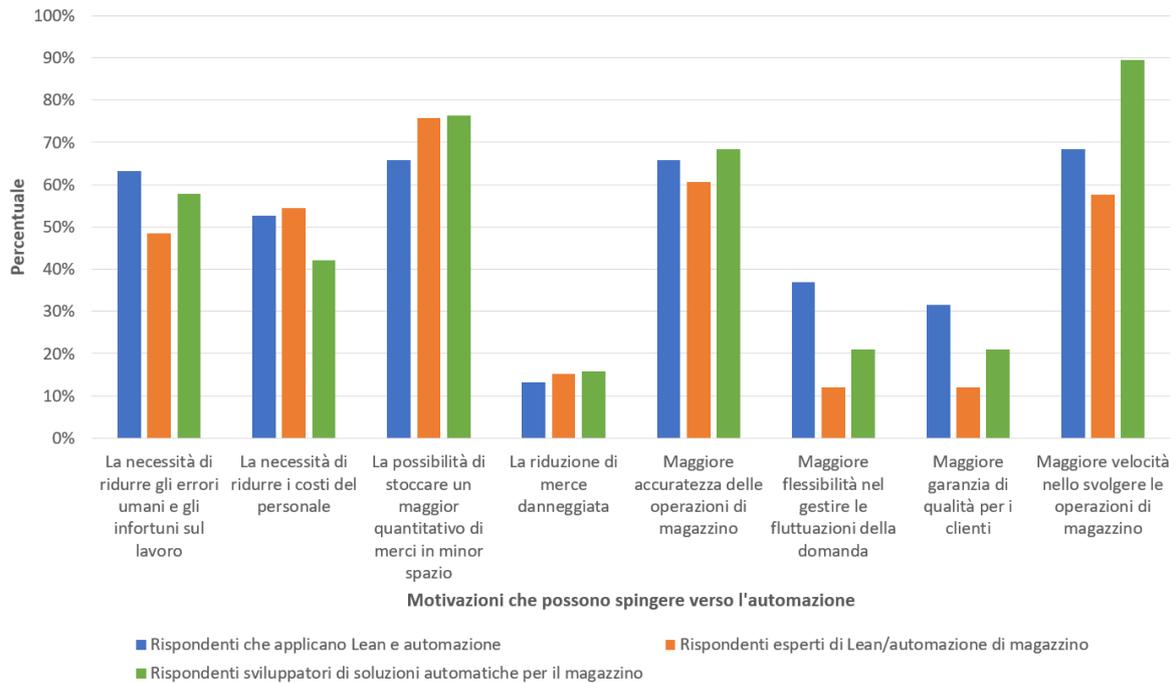


Figura 55 - Motivazioni che possono spingere le imprese verso l'automazione secondo i rispondenti ai tre questionari

Analizzando le risposte di coloro che applicano Lean e automazione ogni giorno e degli esperti in questi due approcci, si può constatare che alcune motivazioni spingono maggiormente le imprese verso l'applicazione di Lean Manufacturing ai propri magazzini. Le cause principali che possono spingere verso l'adozione di questo approccio sono illustrate in Figura 56. Circa il 79% degli esperti ritiene che il bisogno di essere maggiormente efficienti e performanti e la necessità di ridurre gli sprechi siano le due cause che indirizzano in modo particolare le aziende verso l'implementazione del Lean Warehousing, seguite dall'opportunità di avere processi maggiormente standardizzati e dalla possibile riduzione o eliminazione di tutte quelle attività non necessarie.

I rispondenti al questionario "generale" invece sostengono che la motivazione primaria che spinge le aziende verso l'applicazione della metodologia Lean sia la possibilità di ridurre o eliminare le attività non necessarie (76.3% del campione) e in seconda battuta la necessità di ridurre gli sprechi esistenti (71% circa). Il bisogno di essere maggiormente efficienti e performanti è stato ritenuto una valida motivazione per spingere verso l'adozione del Lean Manufacturing ai magazzini dal 63% circa di coloro che applicano i due approcci mentre l'opportunità di avere processi maggiormente standardizzati solo dal 53%

circa di essi. Da entrambe le categorie di figure qualificate si evince che l'esigenza di essere maggiormente competitivi sul mercato e la maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda siano motivazioni meno rilevanti per adottare il Lean Warehousing, soprattutto quest'ultima che viene ritenuta una valida giustificazione solo dal 26% circa di rispondenti al questionario "generale" contro il 42% circa di coloro che appartengono alla categoria di esperti dei due approcci. La motivazione meno riconosciuta per l'implementazione della filosofia Lean è stata la necessità di avere prodotti di maggiore qualità che è stata selezionata rispettivamente dal 18% di coloro che applicano Lean e automazione e dal 12% degli esperti. Infine, secondo un partecipante al questionario "generale" la possibilità di ridurre gli spazi di stoccaggio può essere un'ulteriore spiegazione che spinge verso l'implementazione del Lean Warehousing mentre un esperto ritiene che la semplificazione della gestione del magazzino possa condurre verso l'adozione di questo approccio.

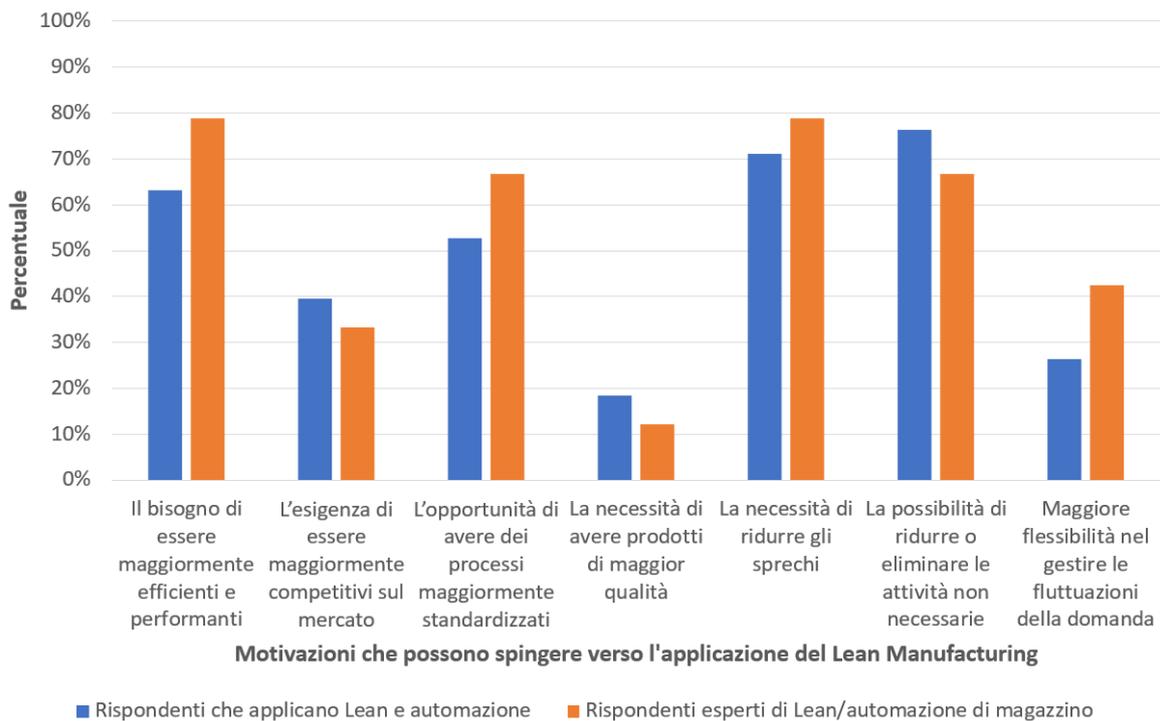


Figura 56 - Motivazioni che possono spingere verso l'applicazione del Lean Manufacturing secondo i rispondenti che applicano Lean e automazione e quelli che sono esperti in questi due approcci

Alla luce delle motivazioni precedentemente indicate, si è ritenuto interessante valutare, secondo le persone che applicano Lean e automazione di magazzino e le figure esperte in questi due approcci, quale potrebbe essere la corretta sequenza di applicazione.

Come si evince in Figura 57, la quasi totalità degli esperti (il 97% circa) ritiene che sia opportuno applicare prima il Lean Manufacturing e poi l'automazione, continuando ad utilizzare la filosofia Lean in un'ottica di miglioramento continuo, contro il 76% circa di rispondenti al questionario "generale". Solo il 3% circa degli esperti sostiene che sia necessario applicare prima l'automazione e poi il Lean Manufacturing mentre ciò viene ipotizzato dal 21% circa dei soggetti che applicano i due approcci. Nessun esperto ha ritenuto opportuna l'applicazione del Lean Manufacturing e poi dell'automazione, senza fare più ricorso in futuro agli strumenti offerti della metodologia Lean mentre una piccolissima porzione di rispondenti al questionario "generale" (il 2,6% del campione) ipotizza che questa opzione di risposta sia una valida soluzione.

Le risposte ottenute da coloro che applicano Lean e automazione potrebbero derivare da ciò che hanno osservato nelle aziende per cui lavorano. Per quanto riguarda gli esperti, si è osservato che la quasi totalità di essi suggerisce che sia corretto applicare prima la filosofia Lean e poi l'automazione, continuando ad utilizzare la prima in un'ottica di miglioramento continuo, probabilmente in relazione alle proprie conoscenze teoriche e pratiche sull'argomento, mostrando un'opinione in linea con diversi articoli scientifici analizzati nel capitolo 2 dedicato all'analisi della letteratura. In quest'ultimo si era osservato, infatti, che applicare alcuni strumenti offerti dalla metodologia Lean, per rimuovere o ridurre gli sprechi esistenti in magazzino, introducendo poi alcune soluzioni automatizzate, è il procedimento più idoneo per evitare di implementare l'automazione all'interno di un processo non ottimizzato, in cui sono presenti sprechi e attività che non aggiungono valore. A titolo di esempio, si possono ricordare gli studi di Bashir e altri (2020), quelli di Dotoli e altri (2013) e quelli di Torres e Young (2020). Inoltre, nella pubblicazione di Guo (2018), oltre all'utilizzo della VSM per individuare gli sprechi, al fine di introdurre poi Poka-Yoke, Kanban e sistemi RFID, si era determinata la necessità di rivedere periodicamente gli strumenti utilizzati, in un'ottica di miglioramento continuo.

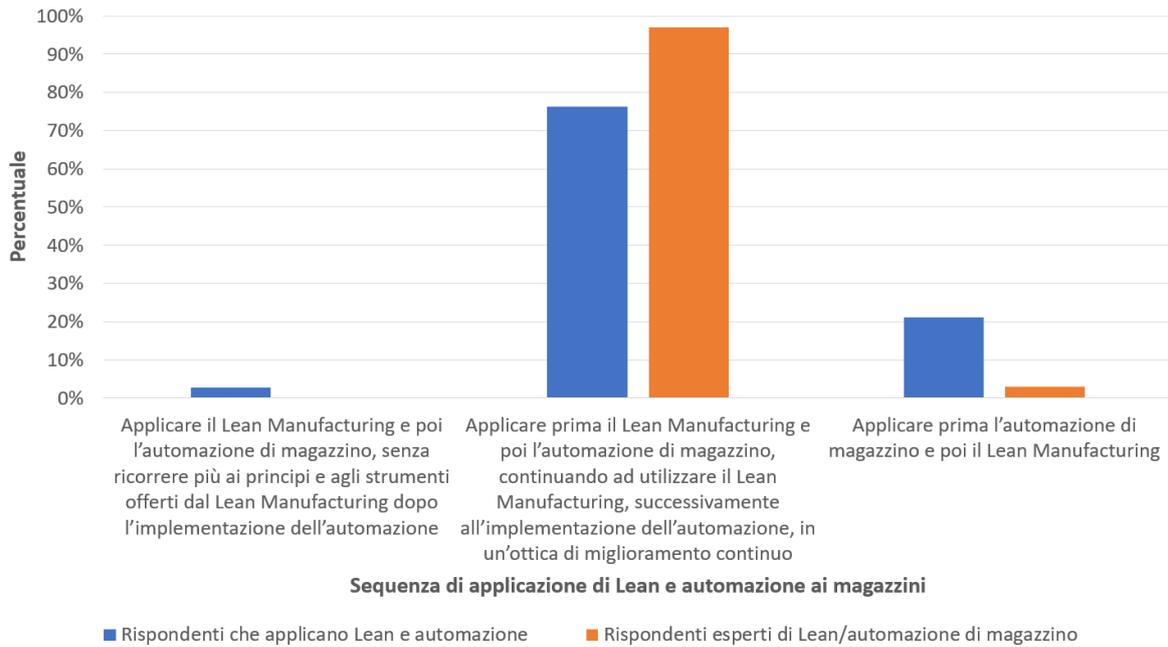


Figura 57 – Corretta sequenza di applicazione secondo i rispondenti al questionario “generale” e a quello dedicato agli esperti di Lean e/o automazione di magazzino

Effettuando ora un’analisi sulle tempistiche di implementazione di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini emerge che, secondo i rispondenti al questionario “generale”, circa il 90% delle imprese per cui lavorano abbia adottato l’automazione per le proprie operazioni da almeno tre anni, mentre l’adozione dell’approccio Lean appare relativamente più recente (Figura 58). Quasi il 45% di essi, infatti, ritiene che il Lean Warehousing sia stato implementato solo negli ultimi tre anni.

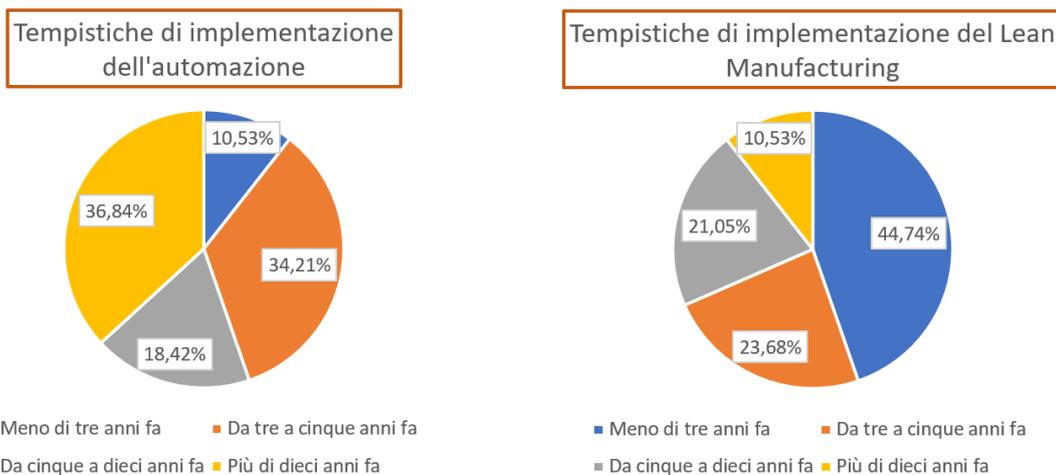


Figura 58 - Tempistiche di implementazione di Lean e automazione ai magazzini secondo i rispondenti al questionario “generale”

Gli esperti sostengono tempistiche di implementazione dell'automazione di magazzino simili a quelle suggerite dalle risposte ottenute dal questionario "generale" con il 94% circa di essi che sostiene che sia stata introdotta da più di tre anni mentre, in merito ai tempi di adozione della metodologia Lean, circa l'88% ritiene che essa abbia trovato applicazione in azienda da più di tre anni (Figura 59).

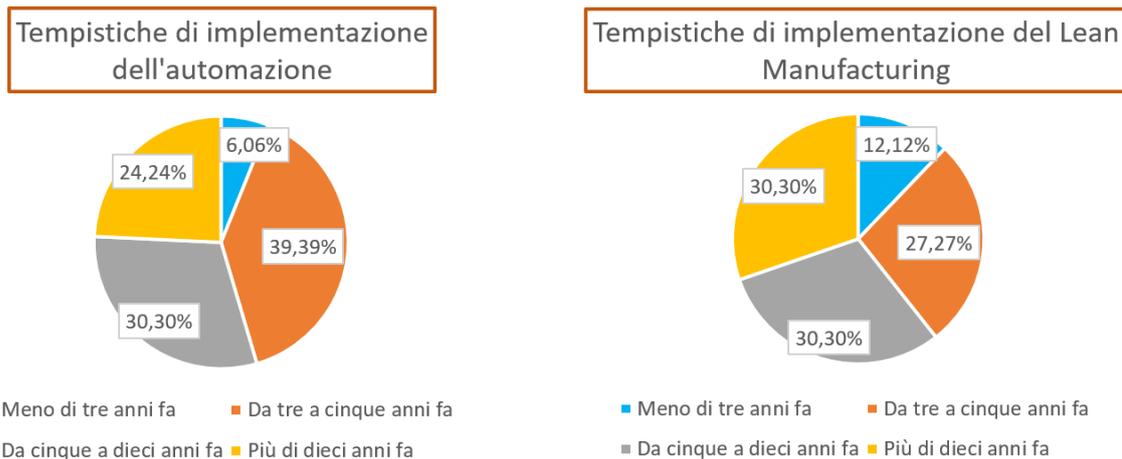


Figura 59 - Tempistiche di implementazione di Lean e automazione ai magazzini secondo gli esperti dei due approcci

Infine, come si può osservare in Figura 60, gli sviluppatori di sistemi automatici affermano in larga misura che, in base alla loro esperienza, buona parte delle aziende manifatturiere si siano rivolte verso l'automazione da oltre 10 anni, una tempistica non riconosciuta dalla maggioranza di professionisti che ha sottomesso gli altri due questionari.

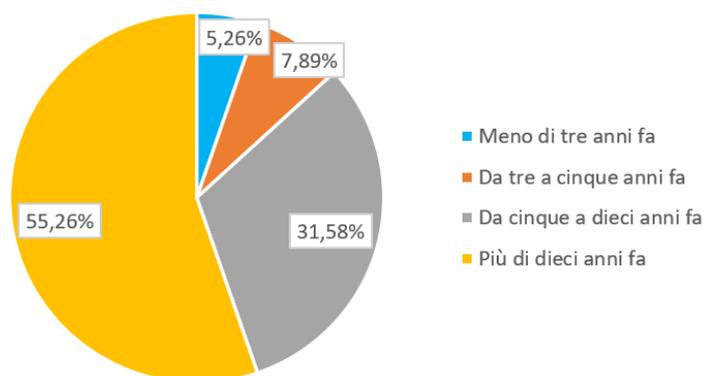


Figura 60 - Tempistiche di implementazione dell'automazione di magazzino secondo gli sviluppatori di soluzioni automatiche

Queste differenze di opinioni tra le tre categorie di professionisti, rispetto alle tempistiche di implementazione di Lean e automazione, potrebbero essere frutto di una valutazione maggiormente influenzata dal contesto aziendale in cui ciascuno di loro opera. È molto probabile che le imprese di consulenza che si occupano della diffusione della filosofia Lean e quelle che producono sistemi automatici di magazzino lo facciano ormai da molto tempo, per cui coloro che lavorano per queste imprese potrebbero ipotizzare tempistiche di implementazione dei due approcci legate al numero di anni dai quali sono diventate operative le loro imprese. La maggior diffusione, invece, potrebbe essere avvenuta solamente anni dopo e ciò giustificherebbe le tempistiche di adozione delle due metodologie, relativamente più recenti, riscontrate dalle risposte dei rispondenti al questionario “generale”.

Per cui questi risultati sembrano indicare che le imprese si stiano ormai orientando da anni verso l'automazione, mentre l'applicazione congiunta con i principi e gli strumenti del Lean Manufacturing appare tendenzialmente più recente, soprattutto secondo le figure professionali che sono impiegate ogni giorno in magazzino, come i responsabili e i rispettivi addetti.

5 Conclusioni

Il capitolo conclusivo sarà dedicato ad una trattazione dei principali benefici che la ricerca ha permesso di ottenere, dei limiti del lavoro di tesi e degli spunti futuri di ricerca.

5.1 Benefici del lavoro di tesi

Alla luce dei dati raccolti dai tre questionari somministrati ad un campione di professionisti che conoscono, utilizzano o implementano la filosofia Lean e i sistemi automatici di magazzino, il presente elaborato ha permesso di giungere ad alcune evidenze interessanti rispetto al tema dell'applicazione congiunta di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini di imprese manifatturiere.

In primo luogo, è emerso che le imprese medio-grandi, soprattutto negli ultimi anni, si stanno rivolgendo verso il Lean Manufacturing e l'automazione di magazzino, anche se non tutte presentano lo stesso livello di adozione dei due approcci, mentre le aziende di piccole dimensioni sembrano poco propense all'implementazione di sistemi automatici.

In linea generale, indipendentemente dal ruolo rivestito dal professionista in azienda, si è avuto modo di osservare che le imprese tendono a rivolgersi verso la filosofia Lean principalmente per ridurre gli sprechi esistenti e le attività non necessarie, per ottenere processi maggiormente standardizzati ma anche per essere più efficienti e performanti. L'automazione, invece, sembra essere incentivata dalla possibilità di stoccare un quantitativo superiore di merce in minor spazio, dalla garanzia di maggior velocità e accuratezza nello svolgimento delle operazioni di magazzino, rispetto al solo intervento manuale, ma anche dalla possibilità di ridurre gli errori umani e gli infortuni sul lavoro, perché si attribuisce alle macchine l'onere di svolgere le mansioni più pericolose e gravose che solitamente compivano gli operatori. Spesso l'introduzione di sistemi automatici è favorita, inoltre, dalla volontà di ridurre la forza lavoro, al fine di ottenere un risparmio sui costi del personale.

Secondo la maggior parte delle figure qualificate coinvolte è importante adottare la filosofia Lean per ridurre o eliminare gli sprechi esistenti, prima di implementare

l'automazione. In questo modo, si inserisce l'automazione all'interno di un processo di ottimizzazione che dovrà poi essere rivisto periodicamente, mediante gli strumenti offerti dalla metodologia Lean, in un'ottica di miglioramento continuo.

Si è avuto modo di constatare che l'impiego combinato di Lean e automazione conduce le imprese verso notevoli vantaggi, secondo le figure professionali coinvolte nella ricerca, in particolare, si è visto un riconoscimento generalizzato nell'ottimizzazione degli spazi e delle scorte di magazzino ma anche nella gestione dei flussi di materiali, nella riduzione di tempi, sprechi ed errori umani. Tuttavia è necessario tenere conto che l'implementazione di soluzioni automatiche comporta ingenti costi che non tutte le imprese possono permettersi di sostenere. Le aziende, per di più, devono prevedere una riprogettazione opportuna del layout di stabilimento e un piano formativo per i propri dipendenti, al fine di guidarli nell'utilizzo e nella gestione corretta dei sistemi automatici e degli strumenti Lean, affinché si possano effettivamente raggiungere i risultati sperati.

Alcune operazioni di magazzino, come lo stoccaggio e il prelievo delle merci, sono state riconosciute come migliori beneficiarie dell'impiego combinato dei due approcci, tuttavia anche le altre attività potrebbero comunque vedere dei miglioramenti secondo alcuni professionisti coinvolti.

In definitiva, si può osservare che il Lean Manufacturing e l'automazione di magazzino stanno trovando un'applicazione crescente nello scenario manifatturiero italiano, grazie anche ai promettenti risultati che si possono ottenere a seguito dell'implementazione. I settori manifatturieri in cui i due approcci vengono adottati sono molteplici. Alcuni professionisti dimostrano di non avere ancora piena consapevolezza sugli strumenti utilizzati, ma probabilmente con una formazione opportuna in tal senso potranno approfondirli, conoscerli meglio e sfruttarne appieno le potenzialità.

5.2 Limiti del lavoro di tesi

Il presente elaborato ha permesso di indagare due tematiche di grande interesse per la letteratura, dato il vasto numero di articoli individuati su Lean Warehousing e automazione di magazzino, tuttavia, come qualunque ricerca in ambito scientifico, presenta alcuni limiti. In primo luogo, si ha un limite a livello temporale perché la raccolta e l'analisi dei dati si sono svolte in un periodo di tempo lungo, pari a circa tre mesi, ma comunque limitato. Avendo più tempo a disposizione sarebbe stato possibile coinvolgere un maggior numero di persone appartenenti allo scenario italiano, oppure predisporre una versione in inglese per i professionisti esteri. Infatti, nel lasso temporale disponibile, i questionari sono stati somministrati solamente ad un campione di figure qualificate che operano essenzialmente in Italia. Si è osservato che una piccola minoranza lavora anche all'estero, ma non possono comunque essere considerate una rappresentazione soddisfacente dello scenario mondiale.

Per di più, il numero di potenziali rispondenti da contattare non è stato calcolato sulla base della dimensione campionaria minima richiesta per un'analisi statistica perché le figure professionali coinvolte sono molteplici ed è molto difficile reperire dati affidabili che permettano di determinare la dimensione effettiva della popolazione di partenza, per cui ci si è affidati alla dimensione campionaria utilizzata in altri lavori di ricerca, trattanti la diffusione della filosofia Lean.

5.3 Sviluppi futuri di ricerca

Il lavoro di tesi ha permesso di arricchire lo stato dell'arte esistente sui temi dell'applicazione congiunta di Lean Manufacturing e automazione ai magazzini di imprese manifatturiere. In futuro, il presente studio potrà essere utilizzato dai ricercatori per indagare meglio l'opinione di professionisti appartenenti non solo allo scenario italiano ma anche a quello mondiale. Questo potrebbe consentire di effettuare un'ulteriore analisi che vada a coinvolgere all'estero figure esperte nelle due tematiche di interesse, al fine di individuare lo stato di applicazione dei due approcci sotto esame, per valutare se ci siano

differenze significative a seconda del paese di appartenenza del lavoratore o del settore di applicazione, ma anche di verificare se i vantaggi e gli svantaggi ottenibili siano gli stessi riscontrati nel panorama italiano.

Bibliografia

Abideen, A.Z., Binti Mohamad, F. (2019), "Improving Pharmaceutical Warehouse Supply Chain Lead Time - From Production to Cross-Docking", *2019 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technologies, CSUDET 2019*, art. no. 9214732, pp. 63-68.

Akkari, A., Valamede, L. (2020), "Lean 4.0: A New Holistic Approach for the Integration of Lean Manufacturing Tools and Digital Technologies", *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, Vol. 5 (5), pp. 851-868.

Amendola, C. (2011), "La tecnologia RFID applicata alla logistica della GDO", *Industrie Alimentari*, Vol. 513, pp. 33-38.

Andjelkovic, A., Radosavljevic, M., Stošić Panić, D. (2017), "Effects of Lean Tools in Achieving Lean Warehousing", *Economic Themes*, Vol. 54, pp. 517-534.

Ariffien, A., Adriant, I., Nasution, J.A. (2021), "Lean Six Sigma Analyst in Packing House Lembang Agriculture Incubation Center (LAIC)", *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1764 (1), art. no. 012043, pp. 1-9.

Arunagiri, P., Gnanavelbabu, A. (2014), "Identification of major lean production waste in automobile industries using weighted average method", *Procedia Engineering*, Vol.97, pp. 2167-2175.

Atzeni, G., Vignali, G., Tebaldi, L., Bottani, E. (2021), "A bibliometric analysis on collaborative robots in Logistics 4.0 environments", *Procedia Computer Science*, Vol. 180, pp. 686-695.

Baby, B., Prasanth, N., Jebadurai, D.S. (2018), "Implementation of lean principles to improve the operations of a sales warehouse in the manufacturing industry", *International Journal of Technology*, Vol. 9 (1), pp. 46-54.

Bao, S., Zhang, M., Cai, Z. (2017), "The slotting optimization of tobacco automated stereoscopic warehouse based on fault tree and field test", *2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering, ICITE 2017*, art. no. 8056936, pp. 346-351.

Bashir, H., Shamsuzzaman, M., Haridy, S., Alsyouf, I. (2020), "Lean warehousing: A case study in a retail hypermarket", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Vol. 0 (March), pp. 1599-1607.

Berx, N., Pintelon, L., Decré, W. (2021), "Psychosocial impact of collaborating with an autonomous mobile robot: Results of an exploratory case study", *ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*, art. no. 3447176, pp. 280-282.

Bonilla-Ramirez, K.A., Marcos-Palacios, P., Quiroz-Flores, J.C., Ramos-Palomino, E.D., Alvarez-Merino, J.C. (2019), "Implementation of Lean Warehousing to Reduce the Level of Returns in a Distribution Company", *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, art. no. 8978755, pp. 886-890.

Buonamico, N., Muller, L., Camargo, M. (2017), "A new fuzzy logic-based metric to measure lean warehousing performance", *Supply Chain Forum*, Vol. 18 (2), pp. 96-111.

Cagliano, A.C., Grimaldi, S., Schenone, M. (2018), "Proposing a new framework for lean warehousing: First experimental validations", *Proceedings of the Summer School Francesco Turco*, 2018-September, pp. 156-163.

Causo, A., Chong, Z.-H., Luxman, R., Chen, I.-M. (2017), "Visual marker-guided mobile robot solution for automated item picking in a warehouse", *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, art. no. 8014018, pp. 201-206.

Chen, J.C., Cheng, C.-H., Huang, P.B., Wang, K.-J., Huang, C.-J., Ting, T.-C. (2013), "Warehouse management with lean and RFID application: A case study", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 69 (1-4), pp. 531-542.

Cotugno, G., Turchi, D., Russell, D., Deacon, G. (2020), "SecondHands: A Collaborative Maintenance Robot for Automated Warehouses. Implications for the Industry and the Workforce", *Biosystems and Biorobotics*, Vol. 25, pp. 195-200.

de la Cruz, H., Altamirano, E., del Carpio, C. (2020), "Lean model to reduce picking time delays through Heijunka, Kanban, 5S and JIT in the construction sector", *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*, pp. 1-10.

Dorner, J., Blaho, M. (2011), "Design and control of an automatized stacker crane for warehouses", *International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems, MEQAPS – Proceedings*, pp. 208-213.

Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Costantino, N. (2013), "A lean warehousing integrated approach: A case study", *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA)*, Cagliari, Italy, pp. 1-7.

Dukić, G., Česnik, V., Opetuk, T. (2010), "Order-picking methods and technologies for greener warehousing", *Strojarstvo*, Vol. 52 (1), pp. 23-31.

El Safty, S.B. (2012), Critical success factors of lean manufacturing implementation in automotive industry in China, *SAE Papers*.

Faber, N., de Koster, M.B.M., Smidts, A. (2013), "Organizing warehouse management", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.33 (9), pp. 1230-1256.

Garmash, O., Marchuk, V. Y., Ovdiienko, O. (2020), "World trends in warehousing logistics", *Electronic scientific and practical journal: Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*, Vol. 2, pp. 32-50.

Gautam, R., Gedam, A., Zade, A., Mahawadiwar, A. (2017), "Review on Development of Industrial Robotic Arm", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, pp. 1752-1755.

Guo, M. (2018), "VSM analysis of allied bakeries White and Wholemeal mixed loaf", *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 127-131.

Gunasekaran, A., Marri, H.B., Menci, F. (1999), "Improving the effectiveness of warehousing operations: a case study", *Industrial Management & Data System*, Vol. 99 (8), pp. 328-339.

Hanson, R., Medbo, L., Johansson, M.I. (2018), "Performance Characteristics of Robotic Mobile Fulfillment Systems in Order Picking Applications", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51 (11), pp. 1493-1498.

Harun, M.F., Habidin, N.F., Latip, N.A.M. (2019), "5S lean tool, value stream mapping and warehouse performance: Conceptual framework", *International Journal of Supply Chain Management*, Vol. 8 (3), pp. 605-608.

Hmidach, S., El Kihel, Y., Amegouz, D., El Kihel, B., Regad, Y. (2020), "Optimizing warehouse logistics flows by integrating new technologies: Case study of an agri-food industry", *2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)*, Kenitra, Morocco, 2020, pp. 1-5.

Hopp, W.J., Spearman, M.L. (2000), "Factory Physics: foundations of Manufacturing Management", McGraw Hill, Ed. 2.

Inam, R., Fersman, E., Raizer, K., Souza, R., Nascimento, A., Jr., Hata, A. (2018), "Safety for automated warehouse exhibiting collaborative robots", *Safety and Reliability - Safe Societies in a Changing World - Proceedings of the 28th International European Safety and Reliability Conference, ESREL 2018*, pp. 2021-2028.

Kamali, A. (2019), "Smart Warehouse vs. Traditional Warehouse – Review", *Automation and Autonomous System*, Vol. 11 (1), pp. 9-16.

Karasek, J. (2013), "An Overview of Warehouse Optimization", *International Journal of Advances in Telecommunications, Electronics, Signals and Systems*, Vol. 2 (3), pp.111-117.

Khaskheli, F.A. (2020), "Lean Construction Practices in Public Projects of Pakistan", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, Vol. 17 (1), pp. 57-60.

Kootanaee, A.J., Babu, K. N., Talari, H. F. (2013), "Just-in-Time Manufacturing System: From Introduction to Implement", *International Journal of Economics, Business and Finance*, Vol. 1 (2), pp. 7-25.

Kudelska, I., Niedbał, R. (2020), "Technological and organizational innovation in warehousing process – research over workload of staff and efficiency of picking stations", *E a M: Ekonomie a Management*, Vol. 23 (3), pp. 67-81.

Lee, J.A., Chang, Y.S., Choe, Y.H. (2018), "Assessment and comparison of human-robot co-work order picking systems focused on ergonomic factors", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 604, pp. 516-523.

Liang, C., Chee, K.J., Zou, Y., Zhu, H., Causo, A., Vidas, S., Teng, T., Chen, I.M., Low, K.H., Cheah, C.C. (2015), "Automated Robot Picking System for E-Commerce Fulfillment

Warehouse Application”, *The 14th IFToMM World Congress, Taipei, Taiwan, October 25-30, 2015*.

Mehta, D., Mehta, N., Mehta, R.K. (2012), “An exploratory study on employee’s perception towards Lean Manufacturing Systems”, *Management & Marketing*, Volume X (1), pp.98-104.

Monte, A. (2009), “Elementi di impianti industriali (Volume I)”, Edizioni Libreria Cortina, Torino.

Mourtzis, D., Samothrakis, V., Zogopoulos, V., Vlachou, E. (2019), “Warehouse Design and Operation using Augmented Reality technology: A Papermaking Industry Case Study”, *Procedia CIRP*, Vol. 79, pp. 574-579.

Nicolas, L., Yannick, F., Ramzi, H. (2018), “Order batching in an automated warehouse with several vertical lift modules: Optimization and experiments with real data”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 237 (3), pp. 958-976.

Oleari, F., Magnani, M., Ronzoni, D., Sabbatini, L. (2014), “Industrial AGVs: Toward a pervasive diffusion in modern factory warehouses”, *Proceedings - 2014 IEEE 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing, ICCP 2014*, art. no. 6937002, pp. 233-238.

Padhy, S.S. (2017), “Palletizing Application of a Six-axis Industrial Robot”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol.7 (12), pp. 231-234.

Pandian, Dr. (2019), “Artificial Intelligence Application in Smart Warehousing Environment for Automated Logistics”, *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks (2019)*, Vol. 01 (2), pp. 63-72.

Pareschi, A, Ferrari, E., Persona, A, Regattieri, A. (2015), "Logistica Integrata e Flessibile: Per i sistemi produttivi dell'industria e del terziario. Con applicazioni numeriche e progettuali", Società Editrice Esculapio, Bologna.

Patitad, P., Watanabe, W.C. (2020), "Developing the Model of Managing Warehouse for Sugar Product: Case study of Phitsanulok Province, Thailand", *2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications, ICIEA 2020*, art. no. 9102027, pp. 533-538.

Phogat, S. (2013), "An Introduction to Applicability of Lean Warehousing", *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, Vol. 2 (5), pp. 105-109.

Pinkam, N., Bonnet, F., Chong, N.Y. (2016), "Robot collaboration in warehouse", *International Conference on Control, Automation and Systems*, Vol. 0, art. no. 7832331, pp. 269-272.

Ponikierska, A., Stefaniak, R. (2017), "Manufacturing systems improvement with 5S practices", *24th International Conference on Production Research, ICPR 2017*, pp. 260-265.

Prasetyawan, Y., Simanjuntak, A.K., Rifqy, N., Auliya, L. (2020), "Implementation of lean warehousing to improve warehouse performance of plastic packaging company", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 852 (1), art. no. 012101, pp. 1-6.

Purba, H.H., Mukhlisin, Aisyah, S. (2018), "Productivity improvement picking order by appropriate method, value stream mapping analysis, and storage design: A case study in automotive part center", *Management and Production Engineering Review*, Vol. 9 (1), pp. 71-81.

Rewers, P., Trojanowska, J., Chabowski, P. (2016), "Tools and methods of Lean Manufacturing - a literature review", *Proceedings of 7th International Technical Conference TECHNOLOGICAL FORUM 2016*, pp. 135-139.

Ridolfi, M., Macoir, N., Gerwen, J.V.-V., Rossey, J., Hoebeke, J., De Poorter, E. (2019), "Testbed for warehouse automation experiments using mobile AGVs and drones", *INFOCOM 2019 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops, INFOCOM WKSHPS 2019*, art. no. 8845218, pp. 919-920.

Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A. (2009), "A survey of literature on automated storage and retrieval systems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 194, art no. 2, pp. 343-362.

Salhieh, L., Altarazi, S., Abushaikha, I. (2019), "Quantifying and ranking the "7-Deadly" Wastes in a warehouse environment", *TQM Journal*, Vol. 31 (1), pp. 94-115.

Sarifudin, M.S., Mansor, M.A., Safiei, W. (2018), "Waste Simplification for Warehouse Using Boolean Logic", *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, Vol. 5 (1), pp. 44-52.

Silva, S.K.P.N. (2012), "Applicability of Value Stream Mapping (VSM) in the Apparel industry in Sri Lanka", *International Journal of Lean Thinking*, Vol. 3 (1), pp. 36-41.

Škerlič, S., Muha, R., Sokolovskij, E. (2017), "Application of modern warehouse technology in the Slovenian automotive industry", *Transport*, Vol. 32 (4), pp. 415-425.

Sun, X., Wu, C.-C., Chen, L.-R. (2018), "An Automated Warehouse Sorting System for Small Manufacturing Enterprise Applying Discrete Event Simulation", *Proceedings of 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, IMCEC 2018*, art. no. 8469264, pp. 1597-1601.

Tamara, M.N., Darmawan, A., Tamami, N., Sugianto, C., Kuswadi, S., Pramujati, B. (2018), "Electronics System Design for Low Cost AGV Type Forklift", *Proceedings - 2018 International Conference on Applied Science and Technology, iCAST 2018*, art. no. 8751559, pp. 464-469.

Tissir, S., El Fezazi, S., Cherrafi, A. (2020), "Lean management and industry 4.0 impact in covid19 pandemic era", *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, August, pp. 3123-3129.

Torres, R.B., Young, M.N. (2020), "A Comparative Study on the Use of Automation in a Shoe Manufacturing Warehousing with Conventional Warehousing", *ACM International Conference Proceeding Series*, art. no. 3429570, pp. 5-9.

Varila, M., Seppänen, M., Heinonen, E. (2005), "Effects of automation on cost accounting: A case study in warehouse logistics", *Proceedings of 7th Conference on Manufacturing Accounting Research, May 30th - June 1st, 2005, Tampere, Finland*, pp. 1-15.

Vasili, M.R., Tang, S.H., Ismail, N., Sulaiman, S. (2008), "Open-rack structure for miniload automated storage and retrieval systems: An innovative design approach", *WMSCI 2008 - The 12th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Jointly with the 14th International Conference on Information Systems Analysis and Synthesis, ISAS 2008 - Proc.*, Vol. 5, pp. 281-286.

Venkat Jayanth, B., Prathap, P., Sivaraman, P., Yogesh, S., Madhu, S. (2020), "Implementation of lean manufacturing in electronics industry", *Materials Today: Proceedings*, Vol. 33, Part 1, pp. 23-28.

Veres, C., Marian, L., Moica, S., Al-Akel, K. (2018), "Case study concerning 5S method impact in an automotive company", *Procedia Manufacturing*, Vol. 22, pp. 900-905.

Vicario, G., Levi, R. (2008), "Metodi statistici per la sperimentazione", Case Editrice Esculapio, Bologna.

Wakode, R.B., Raut, L.P., Talmale, P. (2015), "Overview on Kanban Methodology and its Implementation", *IJSRD International Journal for Scientific Research & Development*, Vol. 3 (02), pp. 2518-2521.

Wang, J., Li, Z., Higgs, R. (2017), "The application of dense storage integration technology in tobacco logistics centers based on the internet of things", *Proceedings - 2017 IEEE International Conference on Computational Science and Engineering and IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, CSE and EUC 2017*, Vol. 1, art. no. 8005901, pp. 763-767.

Wang, Q., McIntosh, R., Mileham, A. (2010), "A RFID-based automated warehouse design", *ICCET 2010 - 2010 International Conference on Computer Engineering and Technology, Proceedings*, Vol. 6, art no. 5486197, pp. V6359-V6363.

Wu, Y., Huang, L. (2018), "Design of dynamic surveillance system for port bulk cargo entering and leaving the warehouse based on RFID technology", *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 615-619.

Zhongyuan, L., Peng, L., Daqiang, G., George, Q. H. (2020), "Towards Zero-Warehousing Smart Manufacturing from Zero-Inventory Just-In-Time production", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 64, art. 101932, ISSN 0736-5845.

Sitografia

- [1] <https://www.industry4business.it/industria-4-0/lean-manufacturing-in-cosa-consiste-come-puo-cambiare-il-destino-delle-aziende/>
- [2] <https://www.lean.org/Bookstore/ProductDetails.cfm?SelectedProductID=160>
- [3] <http://www.magazzinoefficace.it/il-metodo-kaizen-e-la-filosofia-lean-che-puo-cambiare-il-tuo-magazzino/>
- [4] <https://servizimicroimpresa.it/2016/11/03/lean-production-i-sette-sprechi-muda/>
- [5] https://fischerconsulting.it/area_tecnica/spaghetti-chart/
- [6] <https://www.wiseingegneria.it/trasloelevatori-miniload/>
- [7] <https://www.mecalux.it/blog/stoccaggio-automatico>
- [8] <https://www.ferrettogroup.com/index.cfm/it/soluzioni/magazzini-automatici-verticali/>
- [9] <https://www.modula.eu/blog/magazzino-automatico-orizzontale-a-carosello-i-vantaggi-di-modula-hc/>
- [10] <https://www.mecalux.it/magazzini-automatici-contenitori/trasloelevatori-contenitori-miniload>
- [11] <https://www.logisticamente.it/DirettamenteAziende/11667/nuovo-progetto-swisslog-autostore-per-aumentare-le-performance-di-magazzino/>
- [12] <https://www.acelli.it/it/agv-automated-guided-vehicles>
- [13] <https://www.logisticaefficiente.it/wiki-logistica/magazzino/agv.html>
- [14] <https://www.mecalux.it/blog/magazzino-robotizzato>
- [15] <https://www.arsautomation.com/automazione-flessibile/robot-industriali/>
- [16] <https://www.alumotion.eu/2019/11/alla-scoperta-dei-robot-collaborativi-cobot-10-domande-per-conoscerli-meglio/>

- [17] <https://www.universal-robots.com/blog/adaptation-business-continuity-cobots-packaging-and-palletizing/>
- [18] <https://www.mobile-industrial-robots.com/it/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>
- [19] <https://www.computerworld.com/article/2853682/amazon-uses-robots-to-bolster-warehouses-during-holiday-rush.html>
- [20] <https://computerhoy.com/noticias/life/significado-numeros-codigos-barras-714453>
- [21] <https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/picking/pick-to-light>
- [22] <https://6river.com/what-is-voice-picking/>
- [23] <https://www.opaltechnology.com/technology/voice-picking>
- [24] <https://www.rfidntag.com/uses-for-rfid-warehouse-inventory-tracking-management/>
- [25] <https://www.mecalux.it/blog/realta-aumentata-wearable-logistica>
- [26] <https://unovirgolasei.eu/i-sorter/>
- [27] <https://www.forbes.com/sites/stevebanker/2020/07/31/automation-is-the-future-of-warehousing/>
- [28] https://simcoconsulting.it/Automazione_in_magazzino_quando_conviene.pdf
- [29] https://www.automationtomorrow.com/automazione-soluzione-valida-anche-per-le-piccole-medie-imprese/#Lautomazione_nelle_piccole_e_medie_imprese
- [30] <https://www.generixgroup.com/it/blog/robotica-automazione-cambiamento-magazzino>
- [31] https://www.accenture.com/_acnmedia/PDF-156/Accenture-Value-Driven-Warehouse-Automation-Final.pdf
- [32] <https://www.innovationpost.it/2019/07/04/i-cobot-terra-promessa-della-robotica-industriale/>

Appendice 1: Questionario “generale”

L’obiettivo della mia ricerca è quello di raccogliere le opinioni di professionisti che svolgono mansioni diverse all’interno dell’impresa, per comprendere se esiste un legame tra Lean Manufacturing e automazione applicate ai magazzini. Inoltre, si vuole verificare se l’implementazione di Lean e/o automazione permettano di ottenere vantaggi nelle operazioni dei magazzini in cui vengono introdotte e se ci siano delle differenze significative in base al settore di applicazione o alla dimensione aziendale.

Il sondaggio è anonimo e non verrà utilizzato con finalità commerciali ma solo ai fini del mio lavoro di tesi.

La ringrazio in anticipo per il tempo che vorrà dedicare!

Sezione 1 - Informazioni di carattere generale

1) Quale ruolo riveste all’interno dell’azienda?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Responsabile di magazzino/Responsabile della logistica
- Operatore di magazzino
- Esperto di Lean Manufacturing
- Esperto di automazione di magazzino
- Direttore Operativo/Responsabile di stabilimento
- Quality Manager
- Altro _____

2) A quale/i settore/i appartiene l'impresa per cui lavora?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Abbigliamento
- Alimentare
- Apparecchiature elettriche
- Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto
- Bevande
- Carta
- Chimica
- Coke e petroliferi
- Consulenza
- Elettronica
- Fabbricazione di macchinari
- Farmaceutica
- Gomma e plastica
- Legno
- Magazzinaggio e attività di supporto ai trasporti
- Metallurgia
- Minerali non metalliferi
- Mobili
- Pelle
- Prodotti in metallo
- Riparazione, manutenzione e installazione di macchinari e apparecchiature
- Servizi postali e attività di corriere
- Stampa
- Tessile
- Trasporto aereo
- Trasporto terrestre e mediante condotte
- Trasporto marittimo e per vie d'acqua
- Altro _____

3) In quale paese lavora?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Italia
- Europa
- Resto del mondo

4) Qualora nella domanda precedente, si sia selezionata la risposta “Resto del mondo”, indicare il paese o i paesi in cui si opera.

5) La sua azienda a quale delle seguenti categorie appartiene?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Microimpresa
- Piccola impresa
- Media impresa
- Grande impresa

Sezione 2 – Lean e automazione a livello aziendale

1) Nella sua azienda, quali approcci vengono adottati in magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Lean Manufacturing
- Automazione
- Sia Lean Manufacturing sia automazione
- Nessuno dei due

2) Quali strumenti e principi del Lean Manufacturing vengono applicati nel suo magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Just in Time (JIT)
- Poka-Yoke
- 5 Whys
- Jidoka
- Kaizen
- Heijunka
- 5S
- Riduzione degli sprechi (Muda)
- Spaghetti Chart
- Value Stream Map (VSM)
- Kanban
- Standardizzazione del lavoro
- Altro _____

3) Quali tipologie di sistemi automatici di stoccaggio sono presenti in magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Magazzino automatico servito da trasloelevatore
- Magazzini automatici verticali o orizzontali
- Miniload
- AutoStore
- Altro _____

4) Per le movimentazioni interne al magazzino, quali sistemi di trasporto automatici vengono impiegati?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Veicoli a Guida Automatica (Automated Guided Vehicles, AGV)
- Robot industriali
- Robot collaborativi
- Altro _____

5) Quali tecnologie a supporto del picking vengono utilizzate in magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Codici a barre e relativi lettori
- Pick to Light e/o Put to Light
- Voice Picking
- Tag RFID e relativi lettori
- Occhiali a realtà aumentata
- Uso di dispositivi, quali braccialetti o proiettori, per la comunicazione di informazioni utili al picking
- Altro _____

6) Quali vantaggi sono stati riscontrati, o sono ipotizzabili, dall'uso congiunto di Lean Manufacturing e automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Riduzione degli sprechi
- Riduzione delle attività non a valore aggiunto
- Riduzione degli errori umani
- Riduzione dei tempi
- Riduzione del costo del lavoro
- Migliore gestione dei flussi di materiali
- Ottimizzazione degli spazi e delle scorte di magazzino
- Migliore risposta alle fluttuazioni della domanda
- Maggiore sicurezza per gli operatori
- Altro _____

7) Quali aspetti negativi si sono osservati, o si ipotizza siano osservabili, in seguito all'introduzione di Lean Manufacturing e automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Elevati costi di investimento
- Necessità di riprogettazione del layout di magazzino
- Maggiore sensibilità dei sistemi di trasporto e di stoccaggio automatici alle condizioni ambientali
- Necessità di addestramento del personale
- Maggiore insoddisfazione del personale
- Maggiori costi di manutenzione ordinaria e straordinaria
- Maggiori difficoltà nel rispondere a notevoli incrementi della domanda
- Altro _____

Sezione 3 – Le operazioni di magazzino

1) Quali sono le operazioni di magazzino alle quali viene applicato, o a suo avviso si può applicare, il Lean Manufacturing?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

2) Quali sono le operazioni di magazzino alle quali viene applicata, o a suo avviso si può applicare, l'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

3) Quali sono le operazioni di magazzino alle quali vengono applicati, o a suo avviso si possono applicare, in maniera congiunta il Lean Manufacturing e l'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

4) In quali operazioni si sono riscontrati, o sono riscontrabili, miglioramenti a seguito dell'introduzione del Lean Manufacturing?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

5) In quali operazioni si sono riscontrati, o sono riscontrabili, miglioramenti a seguito dell'introduzione dell'automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

6) In quali operazioni si sono riscontrati, o sono riscontrabili, miglioramenti a seguito dell'introduzione congiunta di Lean Manufacturing e automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

Sezione 4 – Le motivazioni e le tempistiche di implementazione del Lean e dell'automazione

1) Quali sono le motivazioni che hanno spinto, o che possono spingere, verso l'automazione delle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- La necessità di ridurre gli errori umani e gli infortuni sul lavoro
- La necessità di ridurre i costi del personale
- La possibilità di stoccare un maggior quantitativo di merci in minor spazio
- Maggiore accuratezza delle operazioni di magazzino
- Maggiore velocità nello svolgere le operazioni di magazzino
- La riduzione di merce danneggiata
- Maggiore garanzia di qualità per i clienti
- Maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda
- Altro _____

2) Quando si è deciso di automatizzare le operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Meno di tre anni fa
- Da tre a cinque anni fa
- Da cinque a dieci anni fa
- Più di dieci anni fa

3) Quali sono le motivazioni che hanno spinto, o che possono spingere, verso l'applicazione del Lean Manufacturing al magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- La necessità di ridurre gli sprechi
- La possibilità di ridurre o eliminare le attività non necessarie
- L'esigenza di essere maggiormente competitivi sul mercato
- Maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda
- L'opportunità di avere dei processi maggiormente standardizzati
- La necessità di avere prodotti di maggior qualità
- Il bisogno di essere maggiormente efficienti e performanti
- Altro _____

4) Da quanto tempo si è implementata la filosofia Lean Manufacturing nelle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Meno di tre anni fa
- Da tre a cinque anni fa
- Da cinque a dieci anni fa
- Più di dieci anni fa

5) Alla luce delle motivazioni precedentemente indicate, quale ritiene sia la corretta sequenza di applicazione di Lean Manufacturing e automazione di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Applicare prima il Lean Manufacturing e poi l'automazione di magazzino, continuando ad utilizzare il Lean Manufacturing, successivamente all'implementazione dell'automazione, in un'ottica di miglioramento continuo
- Applicare il Lean Manufacturing e poi l'automazione di magazzino, senza ricorrere più ai principi e agli strumenti offerti dal Lean Manufacturing dopo l'implementazione dell'automazione
- Applicare prima l'automazione di magazzino e poi il Lean Manufacturing

Grazie per il tempo dedicato alla compilazione del questionario!

Appendice 2: Questionario per gli esperti di Lean Manufacturing e/o di automazione di magazzino

L'obiettivo della mia ricerca è quello di raccogliere le opinioni di professionisti che svolgono mansioni diverse all'interno dell'impresa, per comprendere se esiste un legame tra Lean Manufacturing e automazione applicate ai magazzini. Inoltre, si vuole verificare se l'implementazione di Lean e/o automazione permettano di ottenere vantaggi nelle operazioni dei magazzini in cui vengono introdotte e se ci siano delle differenze significative in base al settore di applicazione o alla dimensione aziendale.

Il sondaggio è anonimo e non verrà utilizzato con finalità commerciali ma solo ai fini del mio lavoro di tesi.

La ringrazio in anticipo per il tempo che vorrà dedicare!

Sezione 1 - Informazioni di carattere generale

1) Quale ruolo riveste all'interno dell'azienda?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Esperto di Lean Manufacturing
- Esperto di automazione di magazzino
- Altro _____

2) A quale/i settore/i appartiene l'impresa per cui lavora?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Abbigliamento
- Alimentare
- Apparecchiature elettriche
- Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto
- Bevande
- Carta

- Chimica
- Coke e petroliferi
- Consulenza
- Elettronica
- Fabbricazione di macchinari
- Farmaceutica
- Gomma e plastica
- Legno
- Magazzinaggio e attività di supporto ai trasporti
- Metallurgia
- Minerali non metalliferi
- Mobili
- Pelle
- Prodotti in metallo
- Riparazione, manutenzione e installazione di macchinari e apparecchiature
- Servizi postali e attività di corriere
- Stampa
- Tessile
- Trasporto aereo
- Trasporto terrestre e mediante condotte
- Trasporto marittimo e per vie d'acqua
- Altro _____

3) In quale paese lavora?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Italia
- Europa
- Resto del mondo

- 4) Qualora nella domanda precedente, si sia selezionata la risposta “Resto del mondo”, indicare il paese o i paesi in cui si opera.

- 5) La sua azienda a quale delle seguenti categorie appartiene?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Microimpresa
- Piccola impresa
- Media impresa
- Grande impresa

Sezione 2 – Lean e automazione a livello aziendale

- 1) In base alla sua esperienza, quale dei seguenti approcci viene adottato prevalentemente nei magazzini di aziende nel settore manifatturiero?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Lean Manufacturing
- Automazione
- Sia Lean Manufacturing sia automazione
- Nessuno dei due

- 2) In base alla sua esperienza, quali strumenti e principi del Lean Manufacturing possono essere applicati in un magazzino di un'azienda manifatturiera?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Just in Time (JIT)
- Poka-Yoke

- 5 Whys
- Jidoka
- Kaizen
- Heijunka
- 5S
- Riduzione degli sprechi (Muda)
- Spaghetti Chart
- Value Stream Map (VSM)
- Kanban
- Standardizzazione del lavoro
- Altro _____

3) In base alla sua esperienza, quali tipologie di sistemi automatici di stoccaggio sono prevalentemente presenti in un magazzino di un'azienda manifatturiera?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Magazzino automatico servito da trasloelevatore
- Magazzini automatici verticali o orizzontali
- Miniload
- AutoStore
- Altro _____

4) Secondo la sua opinione, quali sistemi di movimentazione automatici vengono solitamente impiegati per i trasporti interni al magazzino di un'azienda manifatturiera?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Veicoli a Guida Automatica (Automated Guided Vehicles, AGV)
- Robot industriali
- Robot collaborativi

Altro _____

5) Quali sono le tecnologie per il picking che ha visto maggiormente impiegate in magazzini di aziende manifatturiere?

(È possibile selezionare più di una risposta)

Codici a barre e relativi lettori

Pick to Light e/o Put to Light

Voice Picking

Tag RFID e relativi lettori

Occhiali a realtà aumentata

Uso di dispositivi, quali braccialetti o proiettori, per la comunicazione di informazioni utili al picking

Altro _____

6) Quali vantaggi può ipotizzare che si verifichino tramite l'uso congiunto di Lean Manufacturing e automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

Riduzione degli sprechi

Riduzione delle attività non a valore aggiunto

Riduzione degli errori umani

Riduzione dei tempi

Riduzione del costo del lavoro

Migliore gestione dei flussi di materiali

Ottimizzazione degli spazi e delle scorte di magazzino

Migliore risposta alle fluttuazioni della domanda

Maggiore sicurezza per gli operatori

Altro _____

7) Quali aspetti negativi ipotizza che si possano osservare in seguito all'introduzione di Lean Manufacturing e automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Elevati costi di investimento
- Necessità di riprogettazione del layout di magazzino
- Maggiore sensibilità dei sistemi di trasporto e di stoccaggio automatici alle condizioni ambientali
- Necessità di addestramento del personale
- Maggiore insoddisfazione del personale
- Maggiori costi di manutenzione ordinaria e straordinaria
- Maggiori difficoltà nel rispondere a notevoli incrementi della domanda
- Altro _____

Sezione 3 – Le operazioni di magazzino

1) Quali sono le operazioni di magazzino in cui, a suo avviso, si può applicare il Lean Manufacturing?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

2) Quali sono le operazioni di magazzino in cui, a suo avviso, si può applicare l'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

3) Quali sono le operazioni di magazzino in cui, a suo avviso, si possono applicare in maniera congiunta il Lean Manufacturing e l'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

4) In quali operazioni di magazzino, secondo la sua opinione, si possono osservare miglioramenti a seguito dell'introduzione del Lean Manufacturing?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

5) In quali operazioni di magazzino, secondo la sua opinione, si possono osservare miglioramenti a seguito dell'introduzione dell'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

6) In quali operazioni di magazzino, secondo la sua opinione, si possono osservare miglioramenti a seguito dell'introduzione congiunta di Lean Manufacturing e automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

Sezione 4 – Le motivazioni e le tempistiche di implementazione del Lean e dell'automazione

1) Secondo lei, quali sono le motivazioni che solitamente spingono le aziende verso l'automazione delle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- La necessità di ridurre gli errori umani e gli infortuni sul lavoro
- La necessità di ridurre i costi del personale
- La possibilità di stoccare un maggior quantitativo di merci in minor spazio
- Maggiore accuratezza delle operazioni di magazzino
- Maggiore velocità nello svolgere le operazioni di magazzino
- La riduzione di merce danneggiata
- Maggiore garanzia di qualità per i clienti
- Maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda
- Altro _____

2) In base alla sua esperienza, da quanto tempo le aziende si orientano verso l'automazione delle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Meno di tre anni fa
- Da tre a cinque anni fa
- Da cinque a dieci anni fa
- Più di dieci anni fa

3) Secondo lei, quali sono le motivazioni che spingono verso l'applicazione del Lean Manufacturing al magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- La necessità di ridurre gli sprechi
- La possibilità di ridurre o eliminare le attività non necessarie
- L'esigenza di essere maggiormente competitivi sul mercato
- Maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda
- L'opportunità di avere dei processi maggiormente standardizzati
- La necessità di avere prodotti di maggior qualità
- Il bisogno di essere maggiormente efficienti e performanti
- Altro _____

4) In base alla sua esperienza, da quanto tempo le aziende applicano la filosofia Lean Manufacturing alle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Meno di tre anni fa
- Da tre a cinque anni fa
- Da cinque a dieci anni fa
- Più di dieci anni fa

5) Alla luce delle motivazioni precedentemente indicate, quale ritiene sia la corretta sequenza di applicazione di Lean Manufacturing e automazione di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Applicare prima il Lean Manufacturing e poi l'automazione di magazzino, continuando ad utilizzare il Lean Manufacturing, successivamente all'implementazione dell'automazione, in un'ottica di miglioramento continuo
- Applicare il Lean Manufacturing e poi l'automazione di magazzino, senza ricorrere più ai principi e agli strumenti offerti dal Lean Manufacturing dopo l'implementazione dell'automazione
- Applicare prima l'automazione di magazzino e poi il Lean Manufacturing

Grazie per il tempo dedicato alla compilazione del questionario!

Appendice 3: Questionario per gli sviluppatori di sistemi automatici di magazzino

L'obiettivo della mia ricerca è quello di raccogliere le opinioni di professionisti che svolgono mansioni diverse all'interno dell'impresa, per comprendere se esiste un legame tra Lean Manufacturing e automazione applicate ai magazzini. Inoltre, si vuole verificare se l'implementazione di Lean e/o automazione permettano di ottenere vantaggi nelle operazioni dei magazzini in cui vengono introdotte e se ci siano delle differenze significative in base al settore di applicazione o alla dimensione aziendale.

Il sondaggio è anonimo e non verrà utilizzato con finalità commerciali ma solo ai fini del mio lavoro di tesi.

La ringrazio in anticipo per il tempo che vorrà dedicare!

Sezione 1 - Informazioni di carattere generale

1) Quale ruolo riveste all'interno dell'azienda?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Sviluppatore di sistemi automatici di movimentazione per il magazzino
- Sviluppatore di sistemi automatici di stoccaggio per il magazzino
- Sviluppatore di sistemi automatici di picking per il magazzino
- Sviluppatore di software per sistemi automatici di magazzino
- Altro _____

2) A quale/i settore/i appartiene l'impresa per cui lavora?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Abbigliamento
- Alimentare
- Apparecchiature elettriche
- Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto

- Bevande
- Carta
- Chimica
- Coke e petroliferi
- Consulenza
- Elettronica
- Fabbricazione di macchinari
- Farmaceutica
- Gomma e plastica
- Legno
- Magazzinaggio e attività di supporto ai trasporti
- Metallurgia
- Minerali non metalliferi
- Mobili
- Pelle
- Prodotti in metallo
- Riparazione, manutenzione e installazione di macchinari e apparecchiature
- Servizi postali e attività di corriere
- Stampa
- Tessile
- Trasporto aereo
- Trasporto terrestre e mediante condotte
- Trasporto marittimo e per vie d'acqua
- Altro _____

3) In quale paese lavora?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Italia
- Europa
- Resto del mondo

- 4) Qualora nella domanda precedente, si sia selezionata la risposta “Resto del mondo”, indicare il paese o i paesi in cui si opera.

- 5) La sua azienda a quale delle seguenti categorie appartiene?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Microimpresa
- Piccola impresa
- Media impresa
- Grande impresa

Sezione 2 – Automazione a livello aziendale

- 1) In base alla sua esperienza, le aziende di quale/i settore/i sono maggiormente interessate ad automatizzare il proprio magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Abbigliamento
- Alimentare
- Apparecchiature elettriche
- Autoveicoli/Altri mezzi di trasporto
- Bevande
- Carta
- Chimica
- Coke e petroliferi
- Elettronica
- Farmaceutica
- Gomma e plastica

- Legno
- Metallurgia
- Minerali non metalliferi
- Mobili
- Pelle
- Prodotti in metallo
- Riparazione, manutenzione e installazione di macchinari e apparecchiature
- Stampa
- Tessile
- Altro _____

2) Quali tipologie di sistemi automatici di stoccaggio produce la sua azienda?
(È possibile selezionare più di una risposta)

- Magazzino automatico servito da trasloelevatore
- Magazzini automatici verticali o orizzontali
- Miniload
- AutoStore
- Altro _____

3) Per le movimentazioni interne al magazzino, quali sistemi di trasporto automatici produce la sua azienda?
(È possibile selezionare più di una risposta)

- Veicoli a Guida Automatica (Automated Guided Vehicles, AGV)
- Robot industriali
- Robot collaborativi
- Altro _____

4) Quali tecnologie per il picking di magazzino produce la sua azienda?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Codici a barre e relativi lettori
- Pick to Light e/o Put to Light
- Voice Picking
- Tag RFID e relativi lettori
- Occhiali a realtà aumentata
- Uso di dispositivi, quali braccialetti o proiettori, per la comunicazione di informazioni utili al picking
- Altro _____

5) Quali vantaggi si possono ipotizzare in seguito all'introduzione dell'automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Riduzione degli errori umani
- Riduzione dei tempi
- Riduzione del costo del lavoro
- Migliore gestione dei flussi di materiali
- Ottimizzazione degli spazi e delle scorte di magazzino
- Migliore risposta alle fluttuazioni della domanda
- Maggiore sicurezza per gli operatori
- Altro _____

6) In base alla sua esperienza, quali aspetti negativi si possono ipotizzare in seguito all'introduzione dell'automazione di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Elevati costi di investimento
- Necessità di riprogettazione del layout di magazzino
- Maggiore sensibilità dei sistemi di trasporto e di stoccaggio automatici alle condizioni ambientali
- Necessità di addestramento del personale
- Maggiore insoddisfazione del personale
- Maggiori costi di manutenzione ordinaria e straordinaria
- Altro _____

Sezione 3 – Le operazioni di magazzino

1) Quali sono le operazioni di magazzino alle quali viene applicata, o a suo avviso si può applicare, l'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

2) In base alla sua esperienza, in quali operazioni di magazzino si possono riscontrare miglioramenti a seguito dell'introduzione dell'automazione?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- Ricezione delle merci
- Stoccaggio
- Controllo dell'inventario
- Prelievo delle merci
- Imballaggio
- Spedizione
- Altro _____

Sezione 4 – Le motivazioni e le tempistiche che portano all'implementazione dell'automazione di magazzino

1) Quali sono le motivazioni che hanno spinto, o che possono spingere le imprese, verso l'automazione delle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare più di una risposta)

- La necessità di ridurre gli errori umani e gli infortuni sul lavoro
- La necessità di ridurre i costi del personale
- La possibilità di stoccare un maggior quantitativo di merci in minor spazio
- Maggiore accuratezza delle operazioni di magazzino
- Maggiore velocità nello svolgere le operazioni di magazzino
- La riduzione di merce danneggiata
- Maggiore garanzia di qualità per i clienti
- Maggiore flessibilità nel gestire le fluttuazioni della domanda
- Altro _____

2) Secondo la sua esperienza, da quanto tempo le aziende hanno deciso di automatizzare delle operazioni di magazzino?

(È possibile selezionare solo una risposta)

- Meno di tre anni fa
- Da tre a cinque anni fa
- Da cinque a dieci anni fa
- Più di dieci anni fa

Grazie per il tempo dedicato alla compilazione del questionario!

Ringraziamenti

Sono giunta al termine di questo percorso di studi, impegnativo, ma gratificante e vorrei ringraziare coloro che mi hanno sostenuta in questi anni.

In primo luogo, ringrazio la mia relatrice, la Professoressa Cagliano, per la sua disponibilità, i suoi preziosi consigli, i suoi insegnamenti e i suggerimenti che ha saputo darmi, non solo per la stesura della mia tesi, ma anche per la mia crescita formativa.

Inoltre, ringrazio la mia famiglia e il mio fidanzato Giovanni per avermi supportato durante tutto il percorso, per essere stati al mio fianco e per avermi aiutato a credere di più in me stessa.

Infine, ringrazio tutti i docenti che ho incontrato in questi anni, i quali mi hanno trasmesso nozioni importanti per il mio futuro che mi auguro sia roseo e ricco di soddisfazioni.