

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

**Industria 4.0 e Carrelli Elevatori:  
stato dell'arte, esigenze del mercato  
e prossimi sviluppi**



**Relatore**

Prof. Anna Corinna Cagliano

**Co-Relatore**

Prof. Antonio Carlin

**Candidato**

Edoardo Benassi

Marzo 2020

## **Abstract**

Questo lavoro di tesi ha l'obiettivo di individuare la presenza delle tecnologie di industria 4.0 nei carrelli elevatori.

Come fase preliminare è stato svolto uno studio delle tecnologie coinvolte, cercando inoltre di fornire una definizione di industria 4.0.

Successivamente si è passati all'analisi dei carrelli elevatori e delle relative specifiche tecniche, scoprendo che sul mercato sono presenti diverse categorie di prodotto, ognuna con esigenze e caratteristiche peculiari. Dopo un conseguente lavoro di catalogazione, è stato possibile rivolgere l'attenzione al vero obiettivo della seguente trattazione: la ricerca delle innovazioni.

La ricerca è stata svolta sui principali costruttori di carrelli elevatori a livello globale. Per ciascuna delle categorie analizzate in precedenza, si è fornito un elenco delle applicazioni innovative presenti sugli ultimi modelli in commercio.

Infine, alla luce del preliminare approfondimento sull'industria 4.0, è stato possibile creare un collegamento tra le innovazioni trovate e le tecnologie abilitanti il 4.0, definendone uno stato dell'arte all'interno di questo mercato.

Le ricerche della tesi sono state oggetto di una selezione sia di contenuti accademici, soprattutto per le nozioni di industria 4.0, sia di contenuti digitali forniti dai costruttori o da società collegate.

Il lavoro della tesi fornisce pertanto una panoramica generale delle varie categorie esistenti di carrelli elevatori, del loro funzionamento e delle tecnologie 4.0 attualmente applicate ad essi.

# Indice

Abstract.....	1
Glossario .....	4
Indice delle Figure.....	5
1. Industria 4.0 .....	6
1.1 Introduzione .....	6
1.2 Caratteristiche della Smart Factory .....	8
1.3 Le Tecnologie Abilitanti.....	10
1.3.1 The Industrial Internet of Things .....	11
1.3.2 Big data and Analytics.....	15
1.3.3 Cloud Computing .....	17
1.3.4 Advance Manufacturing .....	20
1.3.5 Simulation & Virtual Reality.....	21
1.3.6 Augmented Reality.....	23
1.3.7 Additive Manufacturing .....	25
1.3.8 Cyber-Security .....	26
2. I Carrelli Elevatori nella Logica di Magazzino.....	29
2.1 Origine e Sviluppo del Carrello Elevatore .....	29
2.2 Il Mercato Globale ed i Principali Costruttori .....	32
2.3 Analisi delle Tipologie di Carrelli Elevatori.....	34
2.3.1 Transpallet Elettrico .....	34
2.3.2 Stoccatore Elettrico Uomo a Terra .....	39
2.3.3 Carrello Commissionatore .....	41
2.3.4 Carrello Elevatore Classico con Forche a Sbalzo .....	45
2.3.5 Carrello Retrattile .....	49
2.3.6 Carrello Elevatore a Grande Altezza .....	50
3. Innovazioni e Tecnologie 4.0 nei Carrelli Elevatori con Guidatore.....	54
3.1 Metodologia di analisi .....	54
3.2 Transpallet Elettrico .....	54
3.3 Stoccatore Elettrico Uomo a Terra .....	56
3.4 Carrello Commissionatore.....	57
3.5 Carrello Elevatore Classico con Forche a Sbalzo .....	59
3.6 Carrello Retrattile.....	64
3.7 Carrello Elevatore a Grande Altezza .....	66
3.8 Riepilogo.....	68

4. Conclusione.....	72
4.1 Benefici del Lavoro di Tesi .....	72
4.2 Limitazioni del Lavoro di Tesi .....	73
4.3 Sviluppi Futuri .....	73
Bibliografia .....	76
Sitografia.....	78
Allegati.....	80
Allegato 1 .....	80
Allegato 2.....	81
Allegato 3.....	82
Allegato 4.....	83
Allegato 5.....	84
Allegato 6.....	85

## **Glossario**

CPS	Cyber-Physical System
IoT	Internet of Things
BDA	Big data and Analytics
CC	Cloud Computing
IaaS	Infrastructure as a Service
PaaS	Platform as a Service
SaaS	Software as a Service
VR	Virtual Reality
AR	Augmented Reality
ADM	Advance Manufacturing
AM	Additive Manufacturing
FDM	Fused Deposition Modelling
SLA	Stereolithography
SLS	Selective Laser Sintering
EBM	Electron Beam Melting
LOM	Lamineted Object Modelling
CS	Cyber-security
RPA	Robotic Process Automation
VNA	Very Narrow Aisle
APS	Auto Positioning System

## Indice delle Figure

Figura 1 - Architettura dei sistemi cyber-fisici .....	11
Figura 2- Profondità dei diversi servizi cloud.....	19
Figura 3- Test di uno scenario lavorativo mediante VR .....	22
Figura 4- Un operatore svolge attività di manutenzione con l'ausilio della tecnologia AR.....	24
Figura 5- Un semplice modello di stampante a tecnica FDM .....	26
Figura 6- 1924. Primo Carrello elevatore con forche.....	30
Figura 7- Ricavi globali 2018-2017 dei principali produttori di carrelli elevatori. ....	32
Figura 8- Modello BT Levio Toyota con pedana .....	37
Figura 9- Versione Sit-on dell'azienda Still .....	37
Figura 10- Inclinazione del timone e velocità .....	38
Figura 11- Operatore durante l'utilizzo del mezzo .....	38
Figura 12- Tipologie di montante .....	40
Figura 13- Operatore durante un prelievo al secondo livello della scaffalatura .....	41
Figura 14- Toyota BT Optio.....	42
Figura 15- Toyota BT Optio con pedana sollevabile .....	42
Figura 16- Toyota BT Optio con cabina operatore sollevabile.....	43
Figura 17- Triangolo di Stabilità.....	47
Figura 18- Centro di carico e forze di ribaltamento.....	47
Figura 19- Funzione di estensione delle forche .....	50
Figura 20- Cabina con operatore per operazioni in altezza .....	51
Figura 21- Modalità a guida induttiva .....	52
Figura 22- Imbocco dei corridoi per carrelli a guida meccanica .....	52
Figura 23- Batteria estraibile Jungh.....	56
Figura 24- Tasiera di Accesso Crown .....	56
Figura 25- Sistema ausiliario Linde di sollevamento.....	57
Figura 26- Guanto Crown .....	59
Figura 27- Telecomando remoto Jung.....	59
Figura 28 - Distanza e angolazione di rilevamento Sis.....	60
Figura 29- Telecamere su carrello Linde.....	65
Figura 30- Telecamere su carrello Still .....	65
Figura 31- Percorso ottimizzato tramite sistema APS .....	67
Figura 32 - Etichetta con codice a barre installata su scaffalatura .....	67
Figura 33- Software Crown Info link.....	68
Figura 34- Software Toyota T-metic .....	68
Figura 35- Esposizione allo stand Yale durante la fiera ProMat del 2019 .....	71
Figura 36- Componenti Transpallet.....	80
Figura 37- Componenti Stoccatore.....	81
Figura 38- Componenti Commissionatore.....	82
Figura 39- Componenti Carrello con Forche a Sbalzo.....	83
Figura 40- Componenti Rettrattile .....	84
Figura 41- Componenti Carrello a grande altezza .....	85

# **1. Industria 4.0**

In questo capitolo si definirà il concetto di Smart Factory. Successivamente si presenterà un'analisi delle differenti tecnologie coinvolte.

## **1.1 Introduzione**

Negli ultimi anni la complessità all'interno dell'industria è notevolmente aumentata. La crescita della competizione internazionale, l'aumento della volatilità dei mercati, la domanda di prodotti altamente personalizzati rappresentano solo alcuni aspetti della sfida a cui le imprese europee, e non solo, sono sottoposte oggi.

Gli approcci empirici ereditati dalla seconda metà del Novecento, come i principi della lean production, sono stati ormai largamente sfruttati lungo tutta la catena del valore. Considerando un'ottica di lungo periodo, il solo impiego delle attuali metodologie non sembra essere più sufficiente a garantire i requisiti di efficienza, flessibilità e sostenibilità richiesti dal mercato.

Un esempio lampante è la progressiva riduzione del time to market. Le imprese, nel tentativo di rispondere sempre più velocemente alle esigenze del cliente, stanno ridefinendo completamente il loro network produttivo. I vari centri produttivi vengono quindi spostati sempre più verso il cliente finale o nei pressi dei centri di ricerca e sviluppo per velocizzare i tempi di commercializzazione del prodotto. Questo rappresenta chiaramente una situazione emblematica e in netto contrasto con il recente passato: nel settore manifatturiero vigeva la tendenza a dislocare la produzione nei Paesi caratterizzati da manodopera a bassissimo costo, al fine di aumentare la profittabilità e quindi la posizione competitiva.

Le conseguenze di questi stravolgimenti, contemporaneamente alla rapida commercializzazione di alcuni progressi tecnologici, hanno spianato la strada a nuove ed interessanti opportunità. Le principali aziende hanno ormai da diverso tempo intrapreso investimenti nel campo dell'automazione e della robotica, con il principale obiettivo di ridurre i costi di produzione, indipendentemente dalla posizione geografica. I concetti di digitalizzazione e innovazione si stanno diffondendo di pari passo e, in particolare, il tema di "Industria 4.0" rappresenta una nuova questione prioritaria all'interno dell'impresa.

La promessa della "Smart Factory", altamente efficiente e completamente integrata, si presenta come l'occasione giusta per raggiungere uno nuovo livello nel processo di creazione del valore. L'upgrade ad un livello 4.0, definito anche quarta rivoluzione industriale, porta con sé le potenzialità per ridisegnare completamente il modo in cui i beni vengono progettati, prodotti e anche distribuiti.

La maggior parte delle università, società di consulenza ed aziende stanno sostenendo in maniera sinergica diversi studi al fine di capirne le possibili applicazioni ed i relativi sviluppi. Al pari dei primi passi intrapresi, però, fra gli esperti del settore ed i vari manager stanno emergendo alcune perplessità, unitamente ad un certo grado di resistenza e reazioni di barriera all'ingresso.

Il primo aspetto è dovuto prevalentemente all'associazione tra il termine industria 4.0 e il concetto di quarta rivoluzione industriale. Diverse tecnologie, come l'Internet of Things, sono già impiegate in diversi scenari senza che si sia verificata una vera e propria rivoluzione industriale. Secondariamente è necessario tenere presente che una certa dose di perplessità e soprattutto imprevedibilità sarà senz'altro da scontare lungo questo percorso. Infatti, nonostante se conoscano le tecnologie implicate, non si possono prevederne con certezza quelli che saranno i paradigmi emergenti.

I fenomeni di resistenza, invece, sono dovuti prevalentemente alla durata della vita utile degli investimenti effettuati in precedenza. Quando si parla di tecnologie ad alto potenziale dirompente, vi è il rischio che i cambiamenti non siano adattabili agli scenari già esistenti, causando completi stravolgimenti sul mercato, se non addirittura la modifica dell'intero business model. I manager perciò sono molto diffidenti verso questi tipi di cambiamenti e tendono ad essere conservativi.

Un aspetto non trascurabile che emerge quando ci si raffronta con il mondo dell'industria 4.0 è senza dubbio la mancanza di una definizione chiara e univoca. Pertanto, si cercherà, partendo dall'origine della terminologia, di descrivere il fenomeno attraverso le caratteristiche principali universalmente riconosciute. Al fine di studiarne le implicazioni al caso oggetto di studio, verranno successivamente approfondite le tecnologie abilitanti. Nel fare ciò, particolare attenzione verrà dedicata alla sfera della logistica, che si prospetta un ideale campo di applicazione.

## **1.2 Caratteristiche della Smart Factory**

Il concetto "Industria 4.0" ha origine in Germania nel 2011, in occasione della fiera "Messe Hannover", la più importante fiera europea sull'automazione. Allo scopo di illustrare un progetto finanziato dal governo tedesco fu utilizzato il titolo "Zukunftsprojekt Industrie 4.0". Tale progetto si focalizzava sull'ammodernamento del sistema manifatturiero tedesco attraverso strategie mirate di computerizzazione e hi-tech (Zheng, 2018). A partire da quella data il termine si è evoluto e poi diffuso in modo dirompente, fino a rappresentare una rivoluzione tecnologica e industriale.

Alla base del concetto di Industria 4.0 vi è senza dubbio il cambiamento radicale da una visione orientata all'ottimizzazione degli asset fisici, ad una in cui si cerca di ottimizzare il modo in cui i dati e le informazioni sono gestite lungo la value

chain (McKinsey, 2015). Nel nuovo ambiente le persone, le macchine e i sistemi sono coordinati e connessi. Le informazioni generate devono essere monitorate, trasferite, analizzate e tradotte in disposizioni, che a loro volta comportano nuovamente azioni di controllo.

Il punto di partenza è proprio il concetto di raccogliere e memorizzare quanti più dati possibili, in modo da non perdere neanche uno. Un'informazione persa è già di per sé causa di inefficienza. In questo continuo flusso informativo le tecnologie impiegate giocano un ruolo fondamentale e permettano la creazione del valore aggiunto. Ad esempio, prendendo il caso degli asset fisici, che sono una voce di costo importante, il monitoraggio ed il controllo remoto possono contribuire a ridurre i tempi di fermo, migliorare il tasso di utilizzazione. Per creare valore, però, non sufficiente che l'informazione sia solo catturata, ma è necessario che sia resa disponibile e accessibile. Inoltre, anche il modo in cui i dati vengono successivamente processati e sintetizzati rappresenta punto cruciale, considerando che al crescere del numero dei dati raccolti, diventa essenziale individuare cosa realmente è importante. Nell'ultimo step i risultati elaborati vengono tradotti in azioni. Queste possono comprendere suggerimenti agli operatori o addirittura risposte automatiche da parte dei macchinari o attrezzature. Nell'impresa smart, infatti, la responsabilità dell'operatore umano è progressivamente ridotta.

I campi di applicazione e le conseguenze dell'Industria 4.0 sono numerose e dipendono soprattutto dal settore o dal mercato di riferimento. Di seguito sono comunque sintetizzati i principali aspetti che identificano il concetto della Smart Factory (Cozmiuc, 2018):

### *1. Interoperabilità*

I sistemi, le persone, le macchine e le attrezzature comunicano tra loro con lo scopo di automatizzare ed integrare quanto più possibile le varie operazioni. Il miglioramento conseguito è un aumento della produttività.

## *2. Decentralizzazione*

Al crescere delle attività automatizzate, il sistema si evolve verso una maggior decentralizzazione del potere decisionale. L'intervento umano è razionato, richiesto solo nei casi più delicati o al comparire di una criticità. Risparmio di tempo e di risorse sono i principali vantaggi.

## *3. In tempo reale*

Attraverso lo sviluppo di competenze di monitoraggio ed analisi, le organizzazioni riescono a rispondere prontamente e proattivamente all'insorgere di eventuali problemi. Gli asset e le risorse sono gestiti in modo più efficiente.

## *4. Modularità*

I sistemi si caratterizzano per elevata flessibilità, capacità di adattamento ai cambiamenti, anche in caso di fluttuazioni stagionali o cambiamenti repentini delle caratteristiche dei prodotti. Ciò è permesso grazie alla possibilità di sostituire o espandere singoli moduli all'interno del sistema. La modulazione, e la conseguente flessibilità, si trova anche nella capacità dei macchinari di poter operare in condizioni e con prodotti differenti attraverso la riconfigurazione in tempo reale dei parametri di funzionamento.

### **1.3 Le Tecnologie Abilitanti**

Quali sono le tecnologie che rendono possibili l'industria 4.0? Per rispondere a questa domanda si è fatto riferimento alla ricerca condotta dal centro di consulenza aziendale Boston Consulting Group, il quale ha identificato le seguenti tecnologie:

1. The Industrial Internet of Things
2. Big Data and Analytics
3. Cloud Computing
4. Simulation and Virtual reality
5. Augmented Reality
6. Advance Manufacturing
7. Additive Manufacturing
8. Cybersecurity

### 1.3.1 The Industrial Internet of Things

L'evoluzione dell'industria 4.0 è strettamente dipendente dall'impiego dei sistemi cyber-fisici (CPS). Si pensi al seguente scenario: un magazzino al cui interno macchinari e attrezzature comunicano con il sistema centrale, che a sua volta orchestra tutte le singole componenti presenti, al fine di ottimizzare le singole operazioni.

I CPS hanno un ruolo fondamentale nello scenario appena descritto. Vediamone il motivo. Questi sistemi sono composti da architetture multidimensionali in grado di integrare e far interagire gli oggetti reali, come ad esempio un macchinario, con il mondo virtuale (chiamato cyber).

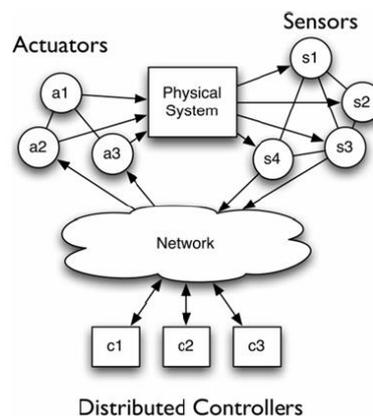


Figura 1 - Architettura dei sistemi cyber-fisici [1]

Ciò avviene grazie all'utilizzo di tre componenti principali:

- Sensori
- Attuatori
- Controller

I sensori e gli attuatori sono componenti elettrici che connettono il mondo reale a quello digitale rispettivamente monitorando e rispondendo. I sensori rappresentano la parte di input, ovvero osservano le caratteristiche ambientali e convertono i cambiamenti percepiti in segnali elettrici.

Gli attuatori, invece, sono la parte di output. A seguito di un segnale di input proveniente dai sensori, dovuto ad un cambiamento, generano una risposta fisica. Generalmente si dividono in quattro categorie di risposta (Ande, 2017):

- Idraulica, generando un movimento sotto la pressione di un liquido
- Pneumatica, generando un movimento tramite un gas in pressione
- Elettrica, generando elettricità
- Meccanica, muovendo ad esempio un macchinario

I sensori e gli attuatori sono di piccole dimensioni, presentano un basso grado di complessità e un basso costo unitario. Certi scenari in cui l'infrastruttura è molto complessa vengono adoperati con specifiche tecniche più fini e quindi più costose.

L'unità che controlla tutto il processo è il controller, che si compone sia di una parte hardware sia software. Solitamente in questo campo si parla di micro-controller, un computer di ridotte dimensioni che può essere programmabile e possiede un unico circuito integrato di Ram, Rom, processore ed Input/Output hardware. A causa della particolarità delle specifiche richieste, questi controller non funzionano con i tradizionali sistemi operativi. Possono essere dotati anche di una memoria addizionale che permetterà lo svolgimento di attività aggiuntive, come ad esempio l'esportazione fisica dei dati per ridurre l'ammontare trasmesso

tramite il network. Talvolta sono presenti funzionalità volte al miglioramento della sicurezza come la cifratura o l'autenticazione.

La comunicazione tra le tre componenti può avvenire tramite connessione wireless o via cavo. Risulta interessante approfondirne il principio di funzionamento.

Al sistema viene attribuito al passare del tempo uno stato corrente, valutato e definito tramite le rilevazioni e le variabili di controllo predefinite. Il valore di riferimento, definito set point, rappresenta invece il valore di funzionamento ottimale. La distanza tra i valori di set point e quelli rilevati all'istante  $t$  dai sensori è calcolata localmente dai controller con l'ausilio di complesse equazioni. Dopo aver calcolato questo differenziale, i controller individuano contemporaneamente le azioni da intraprendere, sempre a livello locale. I parametri di risposta vengono quindi trasmessi agli attuatori che hanno il compito di portare il processo ai valori di set point.

Il ciclo si conclude ed i controller inviano le informazioni al server centrale. L'operatore di sistema, che opera a livello centrale, in questo modo è consapevole dello stato di ogni componente a livello locale, osservando il report attraverso un'interfaccia grafica.

Il continuo evolversi delle capacità dei sensori e degli attuatori contribuirà sicuramente ad ampliare la portata e la qualità delle future applicazioni. Lo sviluppo dei CPS si trova attualmente già alla sua terza fase. Nella prima generazione la memorizzazione e il processo di analisi era compiuto a livello centrale.

Con l'introduzione dei sensori e degli attuatori, con funzioni molto limitate, si è passati alla seconda generazione dei sistemi cyber-fisici. Fino ad arrivare ai CPS attuali, di terza generazione, in grado, come detto, di immagazzinare dati tramite l'utilizzo in parallelo di più sensori collegati in rete. Inoltre, questo collegamento tra CPS e rete è proprio alla base della Smart Factory.

Le caratteristiche e i componenti tecnici che hanno permesso il raggiungimento di questo terzo livello sono (Alguliyev, 2018):

- La diffusione di microprocessori integrati, aumentando la quantità della memoria disponibile per l'immagazzinamento dei dati.
- La qualità degli algoritmi di controllo dei sistemi, migliorati in complessità e affidabilità, hanno permesso l'aumento dell'intensità e della profondità del lavoro svolto dal controller.
- La velocità di trasmissione wireless/via cavo che determina il tempo di risposta. Il ritardo del feedback è proporzionale alla qualità del controllo sull'oggetto monitorato.

I sistemi cyber-fisici vengono spesso confusi con il concetto di Internet of Things (IoT). In generale, si può affermare che il secondo sia un sottoinsieme o un'estensione del primo. Queste due tecnologie, infatti, presentano prevalentemente le medesime caratteristiche tecniche e la stessa architettura, pur essendo differenti concettualmente.

- CPS è un concetto verticale: il mondo fisico viene rilevato e trasportato nel virtuale.
- IoT è un concetto maggiormente orizzontale: permette di connettere tra loro gli oggetti del mondo fisico consentendone una comunicazione autonoma.

Alla base della diffusione della tecnologia IoT vi è uno slogan fondamentale: "ogni cosa che può essere connessa, sarà connessa". E connettere ogni dispositivo ad Internet, si traduce inevitabilmente nel connettere i dispositivi tra loro. Ogni singolo device è connesso al network tramite un unico e identificabile indirizzo IP.

L'utilizzo di questi sistemi è facilitato dalla disponibilità crescente della rete internet a banda a larga. I costi di connettività si stanno riducendo ai minimi

termini, se paragonati al decennio scorso, e sempre più dispositivi ed apparecchiature vengono concepiti con capacità wireless incorporate.

Questa tecnologia apre le porte a numerose possibilità. Allo stesso tempo, nasconde diverse insidie. La sicurezza è sicuramente la principale tra queste. Con un quantitativo crescente di dispositivi ed apparecchiature connesse, sorge il problema della custodia dei dati raccolti. Problemi di privacy e condivisione delle informazioni diventano rilevanti.

### **1.3.2 Big data and Analytics**

L'utilizzo di device con tecnologia IoT permette l'acquisizione di un numero elevatissimo di immagini, video e misurazioni. Non solo. Il vasto impiego di sistemi di controllo distribuiti localmente comporta un aumento nella complessità della produzione e quindi la generazione di altri dati. La mole di informazioni estratte all'interno della Smart Factory è quindi davvero considerevole.

Si è iniziato a parlare inevitabilmente di Big data di fronte a database veramente corposi e complicati rispetto a quelli tradizionali, i cui dataset precedenti erano ad esempio i comuni file Excel. Volendo dare una definizione di big data, la parola grandezza è il primo attributo a cui immediatamente si pensa. Nel tempo, però, sono stati però introdotti diversi attributi, definiti come le sette V (Belhadi, 2019):

- *Volume*: con riferimento alla grandezza e quantità eccessiva dei dati generati. Il volume dei Big data raggiunge facilmente diversi terabyte (TB) fino a petabyte (PB).
- *Varietà*: rappresenta l'eterogeneità e la diversità dei dati. Gli ultimi sistemi ICT generano dati strutturati, semi-strutturati e non strutturati come file di testo, audio, video, e file log.

- *Velocità*: la frequenza elevata con cui i dati sono in un primo tempo generati e poi successivamente processati.
- *Veracità*: introdotta da IMB come definizione di Big data, rappresenta l'incertezza delle informazioni rispetto alla fonte da cui provengono. Ciò comporta la necessità di applicazioni avanzate per la gestione di dati imprecisi.
- *Variabilità*: questo attributo deriva dal lavoro pionieristico di SAS. La complessità dei processi e delle organizzazioni comporta il dover gestire informazioni provenienti da differenti fonti.
- *Volatilità*: associato alla capacità di immagazzinare i dati. Il problema della conservazione e della sicurezza è significativo.
- *Valore*: il settimo attributo è stato coniato da Oracle. Il valore dei dati generati non è proporzionale al volume, solo un lavoro accurato di analisi può attribuire ai dati un valore effettivo e concreto. Le aziende devono instaurare un metodo che permetta di lavorare sulle informazioni essenziali, scartando quelle superflue.

Big data è spesso legato al concetto di Analytics, ovvero l'abilità di estrapolare istruzioni dai dati grezzi applicando tecniche di statistica, matematica, econometria, simulazione. La tecnologia Big data quindi non è un fine di per sé. Il suo potenziale emerge solo come strumento di supporto, in particolare al processo decisionale

D'ora in avanti abbreviato con l'acronimo BDA, può creare valore attraverso quattro tipologie di analisi:

- *Analisi descrittiva*: risponde alla domanda "che cosa succede". Fornisce un quadro della situazione attuale, servendosi di strumenti quali dashboard, reporting, scoreboard, analisi statistica, analisi audio e video, data visualization.

- *Analisi inquisitoria*: risponde alla domanda “perché è successo”. Generalmente avviene tramite la normale comunicazione verbale. Gli strumenti impiegati sono l’analisi cluster, l’associazione, i pattern di sequenza, alberi decisionali ecc.
- *Analisi predittiva*: “che cosa è probabile che succeda”. Utilizzando i dati storici vengono compiute azioni di forecasting. La forbice degli strumenti utilizzabili a questo livello si allarga notevolmente, le più conosciute sono le tecniche di regressione.
- *Analisi prescrittiva*: l’ultimo passaggio corrisponde alla domanda “che cosa si dovrebbe fare”. In questa fase sono utilizzati modelli discreti di scelta, programmazione lineare e non.

L’utilizzo dei big data richiede lo sviluppo di particolari competenze, dalle tecniche per la realizzazione dell’infrastruttura fino a competenze manageriali e capitale umano con skills avanzate. L’utilizzo di strumenti innovativi o la costruzione di un’architettura avanzata ICT, da soli infatti non sono sufficiente a gestire i BDA (Wamba, 2017). L’intera cultura aziendale necessita di una trasformazione completa e di un rinnovamento. Risulta evidente che solo le realtà in grado di aprirsi al cambiamento “sopravvivranno” alla trasformazione industriale.

### **1.3.3 Cloud Computing**

In un contesto altamente innovativo, lo sviluppo di un’architettura ICT può rappresentare una seria minaccia all’agilità dell’impresa. I principali motivi sono senza ombra di dubbio gli elevati costi di investimento, gestione, manutenzione e soprattutto di aggiornamento.

Queste problematiche possono essere aggirate grazie alla tecnologia cloud computing (CC). Il CC è una delle più recenti innovazioni in campo informatico ed è una tecnologia in cui le risorse informatiche vengono condivise in spazi virtuali geograficamente dispersi. A queste risorse è possibile accedere tramite accessi on-demand su piattaforme web-based.

#### Caratteristiche essenziali del CC

- *Accesso universale*: l'accesso alle risorse in cloud può essere effettuato da un'ampia gamma di risorse computerizzate diverse (networks, servers, spazi di archiviazione, applicazioni, device ecc.). Il cloud risulta essere facilmente accessibile indipendentemente dai limiti e dalle restrizioni di tempo/spazio e senza la necessità di apparecchiature hardware installate nel punto a valle di utilizzo.
- *Condivisione delle risorse*: premessa fondamentale alla scalabilità. Tramite il servizio cloud si usufruisce delle risorse computerizzate installate a monte. In questo modo lo sviluppo di nuovi servizi ed applicazioni è facilmente ottenibile senza troppi sforzi. All'utilizzatore finale sono evitati i costi capitali di specifici aggiornamenti hardware o i costi di manutenzione.
- *Elasticità*: possibilità senza grossi sforzi di ottenere modifiche, grazie al ridimensionamento a monte, aumentando o diminuendo, diversi parametri IT come CPU, spazio di memorizzazione ecc.
- *Misurabilità*: l'utilizzo di queste risorse condivise è completamente monitorato fornendo visibilità e trasparenza sul servizio.

I servizi cloud possono essere distribuiti attraverso tre soluzioni principali:

- Infrastructure as a service (IaaS): condivisione o fornitura diretta di infrastruttura IT.
- Platform as a service (PaaS): fornitura di una piattaforma completa per lo sviluppo di un applicativo.
- Software as a service (SaaS): fornitura di un software online come servizio on-demand.

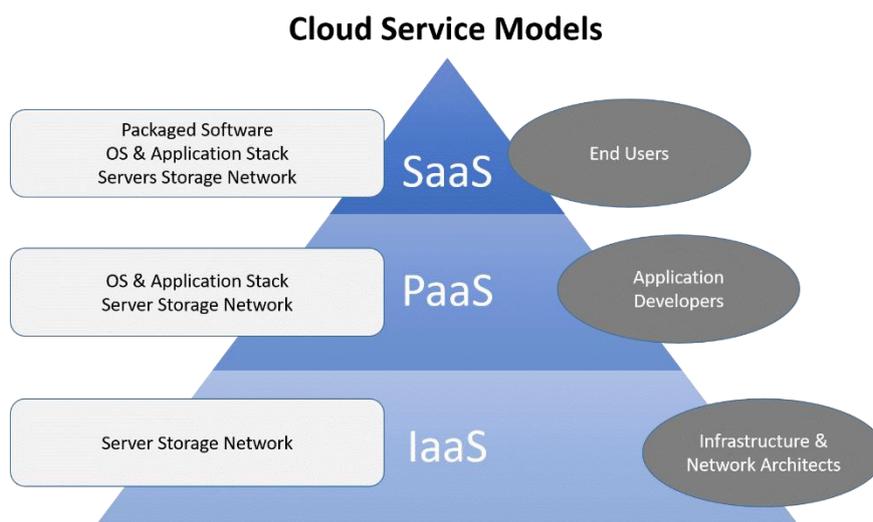


Figura 2- Profondità dei diversi servizi cloud [2]

Il cloud computer fornisce diversi vantaggi rispetto agli IT tradizionali: facilità di configurazione e di utilizzo, bassi costi di sviluppo IT, risparmio energetico, incremento dell'efficienza (Lu, 2011). Nonostante i numerosi vantaggi, però, svariati sono anche gli aspetti negativi e di conseguenza le barriere all'adozione: la sicurezza dei dati e della privacy, la precarietà della disponibilità del servizio, la limitata adattabilità con le applicazioni esistenti.

### 1.3.4 Advance Manufacturing

L'ordine in cui sono state finora considerate le varie tecnologie non è casuale. Un recente studio pubblicato nel 2017 ha dimostrato come una qualsiasi apparecchiatura supportata da sistemi IoT e BDA, non è abbastanza "smart" per supportare allo stesso tempo applicazioni di cloud manufacturing.

Principalmente per due ragioni:

- Difficoltà nel monitorare le operazioni in caso di mancata connessione
- Necessità di una tecnologia ad elevate performance che permetta la generazione di report e reazioni in tempo reale

Per compiere questo passo, all'architettura di un sistema CPS è necessario aggiungere ancora qualcosa. Lo studio in esame identifica il tassello mancante con un modulo intelligente di controllo adattivo. Esso si sostituirebbe al classico centro di controllo, permettendo di intervenire direttamente, oltre che sui movimenti, anche su vari parametri come adattamento alle modifiche subite dal sistema aziendale. Il funzionamento di questo modulo si basa su complessi algoritmi derivanti da metodologie matematiche. Un esempio è il famoso modello "fuzzy logic", inventato nel 1965 dal Dr. Lotfi Zadeh, che permette ad un computer di modellare il mondo reale, simulando alcune capacità umane come l'autoapprendimento, l'autorganizzazione e l'auto adattamento (Monostari, 2003).

Queste applicazioni di Artificial Intelligence e, ancor più nello specifico, di machine learning, consentono lo sviluppo di soluzioni di Cloud Manufacturing, come lo studio indicava, così come l'avanzare di soluzioni di automazione e robotica che riassunti nel termine di Advance Manufacturing (Lu X. , 2018).

A differenza della tradizionale produzione in cui le materie prime vengono trasformate in prodotto finito attraverso l'impiego e il supporto di manodopera, l'Advance Manufacturing vede la creazione di un sistema modulare e

interconnesso che garantisce lo svolgimento di attività e processi automatici ed autonomi.

E' importante sottolineare che in queste applicazioni la parola automazione si concentra su un significato particolare. L'aspetto caratterizzante ed innovativo è l'automazione di attività che richiedono l'utilizzo abilità cognitive. Per chiarire questo passaggio, è utile presentare un altro termine che viene spesso impiegato in questo ambito: Robotic Process Automation (RPA), ovvero l'automazione di servizi e compiti che prima era svolti dall'operatore umano (Madakan, 2019).

### **1.3.5 Simulation & Virtual Reality**

Con il termine simulazione si intende:

- il processo di ricreazione e sperimentazione attraverso un modello matematico dell'evoluzione di un sistema fisico nello spazio virtuale (Liagkou, 2019).
- Oppure, la generazione e l'osservazione di eventi artificiali per studiare le inferenze di specifiche caratteristiche del sistema reale rappresentato.

Il significato di simulazione ha origine dall'esperimento dell'ago di Buffon, avvenuto nel 18-esimo secolo, nel quale si voleva determinare la probabilità con cui un ago, se lanciato su un foglio rigato, cadeva esattamente su di una linea. I principi di simulazione venivano perciò impiegati già molto prima dall'avvento dell'informatica e della digitalizzazione.

Grazie alla successiva computerizzazione, i principali modelli, come ad esempio lo studio degli scenari di accadimento Monte-Carlo, hanno permesso di investigare e migliorare diversi problemi lungo il processo produttivo.

Il grande handicap di questi modelli, però, è la lentezza che richiede il processo di valutazione e questo non si integra assolutamente con un processo decisionale in tempo reale.

Perciò in un mondo 4.0, la simulazione vede il ricorso alla tecnologia a realtà virtuale, che permette di superare questo primo scoglio, generando scenari virtuali interattivi ed immersivi (Turner, 2016). La visualizzazione in tempo reale permette di ridurre il tempo che intercorre tra l'acquisizione dei dati e la generazione di una reportistica.

A livello nozionistico la tecnologia a realtà virtuale (VR) è l'abilità di creare, integrare, ridefinire qualsiasi tipo di ambiente esterno in un framework virtuale, servendosi della simulazione di eventi discreti e di sensori integrati.

Il VR può supportare diversi impieghi, come ad esempio:

- Studio di prodotti nella fase iniziale di prototipazione
- Analisi dell'interazione tra prodotto e cliente
- Progettazione e modifica di processi industriali
- Monitor e supervisione in remoto delle operazioni industriali



*Figura 3- Test di uno scenario lavorativo mediante VR [3]*

principale problema di questa tecnologia è la difficoltà di generare risultati concreti, soprattutto quando lo studio riguarda eventi e situazioni complesse e in cambiamento costante. Una problematica secondaria è legata maggiormente alla

sfera consumer, infatti, i movimenti riprodotti nel mondo virtuale non sono simili alla realtà e questo comporta problematiche per il fruitore, come ad esempio reazioni di nausea, vertigini ecc.

Ultimo ma non meno importante, il costo elevato è sicuramente un fattore limitante.

### **1.3.6 Augmented Reality**

La realtà aumentata (AR) può essere definita come una tecnica di computer grafica dove simboli virtuali vengono sovrapposti alle immagini reali. Alla visione normale vengono aggiunti modelli CAD, scritte o simboli. I simboli sono richiamati tramite la movimentazione del cosiddetto “point of view” della telecamera rispetto all’ambiente circostante.

Può essere identificata come un’evoluzione della tecnologia a realtà virtuale, in cui l’utente utilizzava un visore immersivo o un ambiente/spazio dedicato. Nel VR non vi era connessione tra mondo reale e virtuale mentre nel AR le due realtà sono messe in stretto contatto e sovrapposte. AR si posiziona esattamente a metà tra il mondo fisico e la realtà virtuale (Gatullo, 2015).

I componenti principali del sistema AR sono le tecnologie di visualizzazione, la videocamera, il sistema di tracking e ovviamente l’interfaccia utente. Le tecnologie di visualizzazione possono essere: HMDs, HHDs o proiettori. In base all’utilizzo la visualizzazione può essere statica o mobile.

Molti studi (Neumann, 1998) hanno dimostrato che la maggior parte degli errori procedurali all’interno delle organizzazioni è dovuta prevalentemente alla negligenza. La mancanza dell’informazione è un caso raro, quello che crea problemi non è la disponibilità vera e propria ma quanto avere l’informazione giusta nel posto e nel momento giusto. In questo senso la tecnologia AR offre interessanti opportunità. Anche la produttività ne può trarre beneficio, attraverso

la riduzione del tempo di completamento delle operazioni, sia manuali che cognitive.

AR può essere utile ad esempio nelle operazioni di manutenzione con l'illustrazione di cataloghi ed istruzioni, suggerendo all'operatore le corrette procedure. Sempre nel campo manutentivo, si potrebbe impiegare per effettuare interventi in remoto, con l'immagine virtuale preparata in tempo reale dal comando centrale e caricata all'operatore in loco. Formazione, supporto di diagnosi, operazioni di assemblaggio, supporto alla progettazione, pick by vision (Massod, 2019) nella logistica sono tutte applicazioni potenzialmente interessanti. In generale è un sistema molto valido in situazioni ad alto sfruttamento di manodopera (labor Intensive) o nei processi non completamente automatizzati.

A suo svantaggio la necessità di competenze settoriali. Sono richieste infatti capacità di modellazione 3D, computer grafica, programmazione, esperienze di registrazione video. Inoltre, la sua implementazione non è universale e la selezione delle attività risulta fondamentale. La riuscita della sua efficacia dipende in buona parte anche dalla reattività e capacità dell'operatore che la utilizza.



*Figura 4- Un operatore svolge attività di manutenzione con l'ausilio della tecnologia AR [4]*

### 1.3.7 Additive Manufacturing

Conosciuta meglio con il termine di stampa 3D, l'Additive Manufacturing è un processo di lavorazione che si contrappone alle tecniche di asportazione di materiale, come il classico tornio o la fresatura, realizzando prodotti o componenti tramite l'apporto di materiale.

A rendere interessante l'AM è la libertà di progettazione. I classici vincoli di forma e geometria nella realizzazione del pezzo sono rimossi. Il materiale viene aggiunto punto a punto e strato su strato permettendo un'elevata efficienza strutturale e precisione anche in componenti complessi (Savio, 2017). Il principale beneficio è la riduzione del peso dell'oggetto. Progettando la struttura prevedendo solo le componenti essenziali, si utilizza meno materiale. Vi è quindi un risparmio di materia prima e indirettamente un risparmio nei costi del trasporto (Raymer, 1992). Costi del trasporto che in certi casi possono essere addirittura soppiantati, consentendo direttamente la produzione di componenti di ricambio presso lo stabilimento a valle. Il prodotto in questo caso si trasforma in servizio.

Diverse tecniche di Additive Manufacturing sono state introdotte negli ultimi anni. Un modo per classificarle è quello di basarsi sulla tipologia delle materie prime impiegate nel processo, che possono essere:

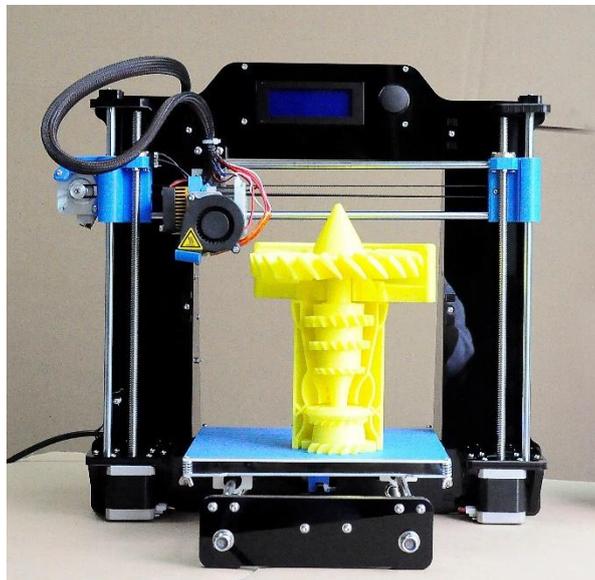
- Materiali fluidi
- Particelle discrete
- Parti solide

FDM, Fused Deposition Modelling, fa parte della prima categoria ed è una tecnica economica basata sul deposito a fusione di un filamento sottile. Stereolithography (SLA) è un altro processo fluido basato su una resina fotosensibile che solidifica al passaggio di un apposito laser.

Queste tecniche sono solitamente impiegate per la realizzazione di parti non-strutturali che non richiedono una specifica resistenza. Nel caso, invece, di componenti strutturali vengono impiegati processi a particelle discrete.

I principali sono il Selective Laser Sintering (SLS) ed Electron Beam Melting (EBM) che partire dalla polvere di alluminio, ferro o titanio permettono di realizzare pezzi solidi veramente resistenti.

Infine, un'ultima tipologia di Additive Manufacturing è rappresentata dal Laminetd Object Modelling (LOM), in cui strati di carta patinata o laminati di plastica vengono incollati uno sopra l'altro e successivamente tagliati tramite un coltello o un laser. Il vantaggio principale di questa metodologia è che gli oggetti ottenuti possono essere successivamente lavorati.



*Figura 5- Un semplice modello di stampante a tecnica FDM*

### **1.3.8 Cyber-Security**

Un aspetto comune che è emerso nella trattazione è il tema della sicurezza. La Cybersecutiry rappresenta una sfida importante per le aziende che si avvicinano

al mondo 4.0. Con l'implementazione della tecnologia IoT i macchinari e dispositivi aziendali diventano vulnerabili a possibili attacchi informatici.

Diverse definizioni possono essere usate per descrivere la Cybersecurity:

- Abilità di proteggere o difendere l'uso del cyberspazio da attacchi esterni.
- Preservazione dell'integrità, della confidenzialità e della disponibilità delle informazioni presenti nel cyberspazio (Enisa, 2017).

Anche in questo caso quindi non si parla di una singola tecnologia, ma di tutte le misure tecnologiche intraprese e necessarie a fini di preservare la sicurezza.

Il sistema può subire diverse compromissioni attraverso lo sfruttamento esterno delle vulnerabilità, ovvero i punti critici del sistema. All'interno delle organizzazioni la nascita di queste fonti attrattive è dovuta a diversi fattori:

- La sicurezza non è una priorità per la parte produttiva
- Utilizzo di password default e di porte aperte nei router
- La mancanza di sistemi di aggiornamenti automatici al firmware
- Una volta terminata la fase di startup, il firmware non viene più considerato.
- I dispositivi vengono utilizzati senza un piano di aggiornamento o programmi di antivirus
- Presenza di servizi come windows ICS, internet connection sharing, che permette la condivisione internet con altri computer presenti all'interno del network locale (LAN).

Tabella 1- Riepilogo delle Tecnologie Abilitanti

	<b>Descrizione</b>	<b>Principali Vantaggi</b>
IoT	Set di device e sensori intelligenti che facilitano la comunicazione tra persone, prodotti e macchine	Riduzione degli errori, dei fermi macchina, maggior qualità. Monitoring in tempo reale e manutenzione preventiva.
BDA	Insieme di tecnologie che catturano e analizzano larghe quantità di dati provenienti da prodotti, dai processi e dall' ambiente esterno.	Flessibilità, maggior qualità, grazie all'ottimizzazione della supply chain.
CC	Facilita l'archiviazione e il processamento di larghe quantità di dati con alte performance di velocità, flessibilità ed efficienza	Risparmio di costi in strutture ICT.
ADM	Creazione di sistemi automatici in grado di svolgere attività cognitive.	Riduzione tempi di set-up, fermi macchina. Flessibilità. Alta produttività
VR	Riproduzione del mondo fisico in modelli virtuali permettendo di testare ed ottimizzare i vari scenari.	Velocità in fase di prototipazione.
AU	Utilizzo di una serie di dispositivi che allargano le percezioni umani attraverso l'accesso all'ambiente virtuale.	Miglioramento e velocizzazione delle operazioni lavorative. Riduzione degli errori.
AM	Permette la creazione di complessi prodotti, eliminando la necessità dell'assemblaggio.	Qualità superiore e Riduzione degli scarti attraverso piccoli e customizzati lotti di produzione. Riduzione del lead time tra produzione e spedizione.
CS	Misure di sicurezza progettate per proteggere il flusso informativo aziendale.	Protezione dai rischi dovuti all'utilizzo di tecnologie IoT, Big Data analytics.

## **2. I Carrelli Elevatori nella Logica di Magazzino**

In questo capitolo si analizzerà il mercato dei carrelli elevatori, valutandone lo stato dell'arte e le caratteristiche tecniche dei vari modelli.

### **2.1 Origine e Sviluppo del Carrello Elevatore**

La gestione del magazzino impegna in media circa il 30% delle risorse totali assorbite dal ramo logistico (MLC, 2018). Le principali attività che generalmente sono in carico a questo livello sono:

- La conservazione di materie prime e semilavorati necessari ai vari processi produttivi;
- Lo stoccaggio di prodotti finiti, assicurando e monitorando una scorta di sicurezza ove prevista.
- L'ottimizzazione e la gestione della movimentazione dei beni.

In queste operazioni la presenza di attrezzature ausiliarie come i carrelli elevatori risulta imprescindibile. Ragion per cui molte risorse aziendali vengono impegnate nella scelta, nell'acquisto e successivamente nella pianificazione o manutenzione di questi mezzi.

Sul mercato ne è presente un'ampia gamma, con dimensioni e specifiche tecniche differenti. Pensando ad esempio alla capacità di carico, che rappresenta una delle caratteristiche tecniche più importanti, è possibile trovare prodotti con una capacità massima atta a garantire a sufficienza piccoli spostamenti di magazzino fino ad arrivare a mezzi particolari necessari al trasporto dei container con una capacità che raggiungono le 50 tonnellate.

Prima di descrivere le caratteristiche di questi prodotti risulta utile ripercorrere brevemente l'evoluzione, partendo dalle origini del carrello elevatore.

Come per molte altre invenzioni, esso è nato esclusivamente per necessità. Nel 1917 la Clark Company, azienda produttrice di assali, creò una specie di camion, chiamato Trutractor, per spostare i materiali all'interno dello stabilimento. Quando alcuni soggetti esterni videro questo mezzo al lavoro, ordinarono all'azienda di costruirlo per le loro aziende. Alcuni anni dopo, al primo "prototipo" fu aggiunto un sollevatore idraulico che permettesse il sollevamento degli oggetti. Successivamente nel 1924 si pensò di dotare il mezzo di forche, in grado di sollevare stabilmente il carico. Nella foto seguente è riportato il primo modello di carrello elevatore con forche a sbalzo.



*Figura 6- 1924. Primo Carrello elevatore con forche [5]*

Alcuni sviluppi industriali, come l'introduzione del pallet standardizzato nel 1930, e fattori esogeni, come la Seconda guerra mondiale, hanno contribuito ad una progressiva diffusione, allargando sempre di più il bacino di utilizzatori.

Dagli anni 50', invece, hanno iniziato a prendere piede altre tipologie di carrello. La ragione principale risiede nel fatto che le fabbriche ed i magazzini hanno occupato via via sempre più spazio, ma ogni metro quadrato di superficie occupato

genera costi aziendali incrementali in ammortamento, riscaldamento, illuminazione (Monte, 2003).

Per questo motivo i magazzini si espansero sempre più verso l'alto, anziché verso l'esterno, e di conseguenza il carrello elevatore fu riprogettato per sollevare carichi fino a 15 metri.

Con l'aumento dell'altezza del carico è stato inoltre necessario adottare alcune misure di sicurezza. Al carrello classico fu aggiunta una gabbia nella postazione del conducente in modo tale da proteggerlo in caso di caduta del carico. Inoltre, a ridosso delle forche si aggiunse una griglia che aiutasse il carico a rimanere in posizione stabile durante il sollevamento.

Con la crescita del mercato e dei relativi produttori, si svilupparono progressivamente altre tipologie di prodotto volte a soddisfare i bisogni dei vari settori industriali.

E' interessante notare come seppur oggi il carrello elevatore rappresenti un prodotto consolidato, la tecnologia a supporto rimanga comunque in costante evoluzione. Attualmente si studiano soluzioni innovative nelle componenti di alimentazione, mobilità ed automazione. Basti pensare agli ultimi modelli di carrelli elevatori con batterie agli ioni di litio. In commercio si trovano addirittura i primi carrelli a batteria con frenata e abbassamento del carico rigenerativo per il recupero dell'energia.

Tecnologie più rispettose dell'ambiente vengono incorporate anche nei carrelli elevatori. Già nel 2010, gli ordini di carrelli elevatori elettrici rappresentavano il 63% di tutti gli ordini (Rufener, 2011).

Nella paragrafo 2.2 quando si elencheranno le varie tipologie ci si fermerà perciò a considerare solo i carrelli alimentati a batterie elettriche.

## 2.2 Il Mercato Globale ed i Principali Costruttori

Il valore complessivo del mercato dei carrelli elevatori si attesta intorno ai 40 Miliardi di dollari (ITA, 2018). A primo impatto i numeri sembrano indicare che il mercato sia discretamente concentrato con i primi tre produttori che controllano quasi il 50% del market share.

2018 Rank	COMPANY	2017 Rank	2018 Revenue (in millions)	2017 Revenue (in millions)	% Change 2017 - 2018	World Headquarters
1	TOYOTA INDUSTRIES CORPORATION	1	13,292+	11,393	16.7%	Aichi, Japan
2	KION GROUP AG	2	6633+	6306	5.2%	Wiesbaden, Germany
3	JUNGHEINRICH AG	3	4363	4120	5.9%	Hamburg, Germany
4	MITSUBISHI LOGISNEXT CO., LTD.	4	4270	3833	11.4%	Kyoto, Japan
5	CROWN EQUIPMENT CORP.	5	3480	3080	13%	New Bremen, Ohio
6	HYSTER-YALE MATERIALS HANDLING, INC.	6	3174	2885	10%	Cleveland, Ohio
7	ANHUI FORKLIFT TRUCK GROUP CO., LTD.	7	1414	1347	5%	Hefei, Anhui, China
8	HANGCHA GROUP CO., LTD.	8	1227	1077	13.9%	Hangzhou, China
9	CLARK MATERIAL HANDLING INTERNATIONAL, INC.	10	790	781	1.2%	Seoul, South Korea
10	DOOSAN INDUSTRIAL VEHICLE	9	740+	670	10.4%	Seoul, South Korea

Figura 7- Ricavi globali 2018-2017 dei principali produttori di carrelli elevatori [6]

E' necessario considerare, però, come questo mercato sia molto variegato e al cui interno non si possa distinguere un unico prodotto differenziato. Esso, infatti, abbraccia numerosi segmenti, sconfinando talvolta nella più generica categoria del "material handling". Per tale ragione è molto difficile isolare dai bilanci aziendali dati precisi e attendibili. I vari report di mercato sono da trattare con attenzione.

Dallo studio dei principali produttori emerge, infatti, come le tecnologie e le specifiche tecniche siano ben o male comuni a tutti i produttori, sinonimo di un

mercato maturo o poco concentrato. Nonostante non emerga un vantaggio competitivo significativo in termini tecnici, il mercato è comunque profittevole ed accompagnato da previsioni ottimistiche di crescita.

I motivi sono prevalentemente i seguenti:

- Espansione del mercato e-commerce
- Ripresa e sviluppo dell'impresa manifatturiera
- Crescita del mercato globale delle costruzioni

Tra questi fattori quello che incide in maniera più significativa è senza dubbio il primo.

Lo sviluppo digitale, la facilità e la diffusione dell'accesso a Internet, così come di piattaforme crossfunzionali come quelle social, in grado di pubblicizzare i prodotti e rimandare all'acquisto diretto sul sito del venditore, stanno radicalmente trasformando il comportamento di acquisto del consumatore, che sta progressivamente abbandonando il tradizionale acquisto fisico.

Ciò presenta forti ripercussioni al settore della logistica e del Warehouse management.

In primo luogo, vi è un incremento nel carico di lavoro nei magazzini, a causa soprattutto del fenomeno della “delottizzazione”. I prodotti, infatti, non sono più aggregati in un unico ordine da fornire ai vari intermediari o distributori locali, ma viaggiano singolarmente e direttamente dal produttore fino all'utilizzatore finale, aumentando il numero di pratiche in gestione.

Secondariamente, il consumatore digitale, che presenta caratteristiche univoche, si aspetta di ricevere il prodotto il prima possibile ed in perfette condizioni, pena l'apertura di pratiche di reso o il rilascio feedback pubblici negativi.

Infine, nel settore e-commerce generalmente la gamma di prodotti è molto varia, spaziando ad esempio dai libri ai prodotti per la cosmetica, e tutti necessitano generalmente di essere disponibili a magazzino, in stock, al momento dell'acquisto.

L'attenzione richiesta nei confronti della movimentazione della merce all'interno dei magazzini ha subito perciò una forte impennata e la crescita della domanda per prodotti e attrezzature ausiliarie, come i carrelli elevatori, ne rappresenta una naturale conseguenza.

### **2.3 Analisi delle Tipologie di Carrelli Elevatori**

In questo paragrafo si elencheranno e si riporterà il lavoro di analisi del mercato eseguito sulle tipologie principali di carrelli elevatori elettrici, adibiti ad un utilizzo di magazzino, e alle loro funzionalità, partendo dai modelli più semplici fino ad arrivare a quelli più complessi e strutturati. Per definire lo stato dell'arte sono stati presi in considerazione i top 10 produttori a livello globale presenti nella lista nel precedente paragrafo. Talvolta alcune informazioni emergono dall'osservazione di altri competitor ed in particolare si segnalano le aziende Cat, Still.

Ogni categoria è presentata con una panoramica costruttiva introduttiva e i relativi dati tecnici. Questi ultimi sono stati ricavati comparando principalmente i produttori Still, Jungheinrich, Toyota, i quali presentano sui propri siti internet informazioni maggiormente dettagliate e precise.

#### **2.3.1 Transpallet Elettrico**

Il transpallet elettrico è la tipologia più semplice di carrello elevatore. E' progettato per sollevare e spostare carichi pallettizzati, facilitando e supportando il lavoro dell'operatore. Il suo utilizzo consente di risparmiare tempo e fatica, compiendo

azioni che normalmente richiederebbero l'impiego di più risorse contemporaneamente.

A causa delle dimensioni ridotte e della struttura essenziale, il transpallet non è adatto per spostare carichi di grosse dimensioni, così come non è ideale per attività ripetute su lunghe distanze. A suo favore, però, il suo ingombro ridotto permette di utilizzarlo anche negli spazi più stretti e di essere manovrato con facilità senza una formazione particolare. Un altro fattore importante sono i ridotti costi di acquisto o noleggio rispetto alle altre tipologie di carrello elevatore

Il transpallet viene impiegato all'interno dei magazzini, anche se all'occorrenza può essere utilizzato in attività di carico e scarico di automezzi. A livello tecnico è strutturato dalle seguenti parti: un sistema idraulico che si occupa del sollevamento, sistema motorizzato che consente lo spostamento orizzontale del mezzo, maniglia di azionamento/controllo detta timone, telaio, in cui è importante nominare le forche e i rulli che consentono di afferrare e stabilizzare il carico, infine le varie componenti elettriche.

Dall'analisi delle tipologie di transpallet elettrici sono emerse alcune differenziazioni del prodotto che si possono riassumere nelle seguenti tre categorie:

Il transpallet elettrico è la tipologia più semplice di carrello elevatore. E' progettato per sollevare e spostare carichi pallettizzati, facilitando e supportando il lavoro dell'operatore. Il suo utilizzo consente di risparmiare tempo e fatica, compiendo azioni che normalmente richiederebbero l'impiego di più risorse contemporaneamente.

A causa delle dimensioni ridotte e della struttura essenziale, il transpallet non è adatto per spostare carichi di grosse dimensioni, così come non è ideale per attività ripetute su lunghe distanze. A suo favore, però, il suo ingombro ridotto permette di utilizzarlo anche negli spazi più stretti e di essere manovrato con facilità senza

una formazione particolare. Un altro fattore importante sono i ridotti costi di acquisto o noleggio rispetto alle altre tipologie di carrello elevatore

Il transpallet viene impiegato all'interno dei magazzini, anche se all'occorrenza può essere utilizzato in attività di carico e scarico di automezzi. A livello tecnico è strutturato dalle seguenti parti: un sistema idraulico che si occupa del sollevamento, sistema motorizzato che consente lo spostamento orizzontale del mezzo, maniglia di azionamento/controllo detta timone, telaio, in cui è importante nominare le forche e i rulli che consentono di afferrare e stabilizzare il carico, infine le varie componenti elettriche.

Dall'analisi delle tipologie di transpallet elettrici sono emerse alcune differenziazioni del prodotto che si possono riassumere nelle seguenti tre categorie:

- Walk Along: rappresenta la classica versione di transpallet. L'operatore da terra manovra il mezzo. Ideale per un utilizzo su brevi distanze.
- Ride-on: presenta rispetto alla versione precedente l'aggiunta di una pedana operatore nella parte posteriore. Questa permette all'operatore di salire ed evitare di camminare durante i lunghi spostamenti, risparmiando energie. Per questo motivo è ideale in situazioni in cui sono richiesti spostamenti per medio-lunghe distanze o in attività che richiedono un continuo sali e scendi dal mezzo.



*Figura 8- Modello BT Levio Toyota con pedana*

- Sit- on: Rispetto ai primi due è un prodotto maggiormente di nicchia. Si adatta in contesti specifici e dove nella maggioranza dei casi vengono preferite altre soluzioni. Il transpallet in questo caso viene costruito attorno ad una postazione di seduta per l'operatore, il quale così è in grado di effettuare la movimentazione richiesta in perfetto comfort. L'operatore svolge solamente una funzione cognitiva e di guida del mezzo.



*Figura 9- Versione Sit-on dell'azienda Still*

Le caratteristiche fondamentali del transpallet si concentrano sulla facilità e la semplicità di utilizzo. L'obiettivo del prodotto è quello di garantire flessibilità di utilizzo unitamente a buone capacità di sollevamento, garantendo il completamento delle principali operazioni che avvengono in magazzino.

Ciò nonostante, come si è visto dalla categoria sit-on, non viene trascurato neanche l'aspetto comfort ed ergonomia. Un altro esempio può essere lo sforzo riversata nella progettazione del timone, nel tentativo di ridurre lo stress e lo sforzo all'operatore.

Il funzionamento del prodotto può aiutare a capire queste dinamiche.

Per spostare un carico utilizzando un transpallet è necessario innanzitutto posizionare il carico su un pallet standard di legno, eventualmente fissandolo con idonee cinghie di ancoraggio o sistemi di pallettizzazione. Successivamente è necessario far scorrere le forche del transpallet negli appositi spazi del pallet.

Azionando la maniglia presente in testa al timone si avvia la pompa di sollevamento. In questo modo il pallet viene sollevato da terra, pronto per lo spostamento. L'operatore controlla la velocità di marcia del carrello agendo sull'angolo d'inclinazione del timone. Il timone rappresenta perciò lo strumento con cui l'operatore guida e gestisce il mezzo. Esso è progettato per fornire un controllo facilitato ed intuitivo. Nell'immagine sottostante è possibile osservare il rapporto tra l'angolo di inclinazione del timone e la velocità di marcia del mezzo.



Figura 10- Operatore durante l'utilizzo del mezzo [7]

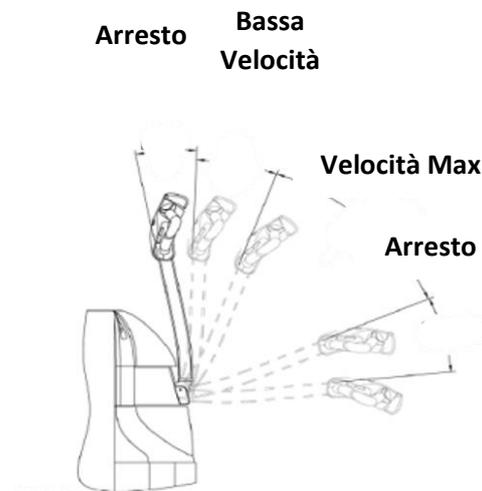


Figura 11- Inclinazione del timone e velocità [8]

### **2.3.2 Stoccatore Elettrico Uomo a Terra**

Una sorta di evoluzione del transpallet si concretizza nello stoccatore elettrico uomo a terra, negli Stati Uniti definito con il termine di “staker truck”.

L'operatore cammina dietro al mezzo e lo guida utilizzando il timone. Anche in questo caso risultano presenti sul mercato versioni con piattaforma e postazioni per operatore.

Questo prodotto permette di effettuare operazioni di movimentazione sia orizzontale sia verticale. Tuttavia, tendenzialmente viene selezionato e implementato in realtà specifiche e specializzate, dove si effettua il prelievo a media altezza (fino a 5/6 metri) in scaffalature.

La peculiarità di questa tipologia è la capacità di sollevamento dei carichi pallettizzati ad altezze più elevate. Si ricorda come l'altezza di afferraggio del transpallet sia di soli 13 cm da terra.

Per tale motivo, nonostante le caratteristiche costruttive rimangono pressoché identiche, nell'architettura degli stocicatori troviamo comunque alcune parti aggiuntive, che sono appunto riconducibili alla funzione di sollevamento.

La novità meccanica che subito colpisce è la presenza di una struttura verticale installata a ridosso delle forche sul lato frontale del mezzo, chiamata montante, la quale consente alle forche di raggiungere una distanza verticale considerevole senza problemi.

Su qualsiasi stoccatore possono essere installate diverse tipologie di montante a seconda dell'utilizzo, in quanto la scelta del montante ne influenza la quota raggiungibile in altezza.

Vi possono essere generalmente tre tipologie: simplex, duplex, triplex. I nomi fanno riferimento al numero di cilindri laterali installati nel montante che si

traducono in un allungamento ulteriore rispetto a quello singolo, detto simplex. Nell'immagine sottostante è possibile vedere le tre differenti altezze raggiungibili a seconda del montante installato.

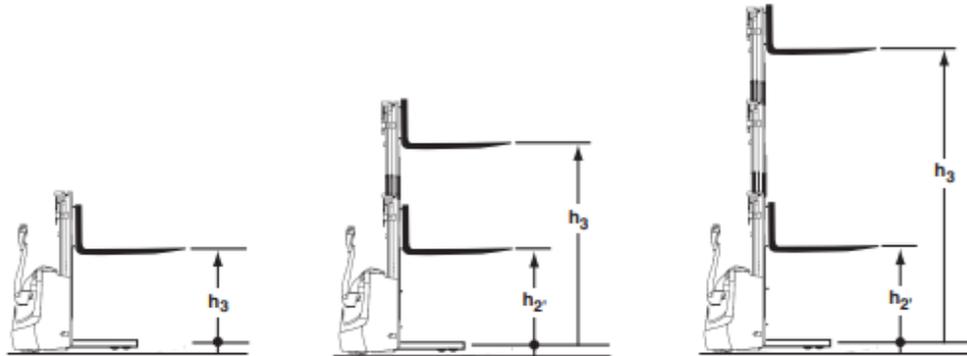


Figura 12- Tipologie di montante [8]

A causa della movimentazione in quota, nella progettazione è molto importante il parametro visibilità. La presenza di una struttura impedente come il montante e la necessità di osservare da terra il carico fino a 6 metri di distanza richiedono certe accortezze. Vengono implementati strumenti di avviso in grado di aiutare l'operatore a svolgere la sua mansione senza incidenti.

Per questa stessa ragione nello stoccare solitamente il timone è generalmente più lungo e installato con un punto di fissaggio inferiore, permettendo così una maggior distanza di sicurezza dell'operatore dalla fonte di pericolo. Un'ultima componente significativa è la manovrabilità.

Lo stoccatore presenta una struttura impegnativa da gestire manualmente, nonostante richieda lo spostamento in spazi stretti tra le scaffalature. Questo richiede lo sviluppo di sistemi di supporto in grado di colmare questo handicap.



*Figura 13- Operatore durante un prelievo al secondo livello della scaffalatura [9]*

### **2.3.3 Carrello Commissionatore**

Il carrello commissionatore è un sottotipo del transpallet uomo a terra, specificatamente adoperato per raccogliere materiali presenti a stock da consegnare. E' progettato per sollevare sia il carico che eventualmente anche l'operatore. Il loro design versatile consente di gestire oggetti di varie dimensioni, anche se maggiormente finalizzati a prelevare una o qualche unità alla volta anziché interi pallet.

Il commissionatore è un carrello elevatore elettrico che rappresenta un universo a sé stante, destinato prettamente ai magazzini in cui si gestiscono e preparano gli ordini da inviare ai clienti, configurati per prelevare una o qualche unità alla volta anziché interi pallet. In pratica supporta le operazioni di picking. Questo è un processo di movimentazione del materiale tra i più complessi e dipendenti dell'uomo e richiede attrezzature studiate ad hoc al fine di velocizzare l'interazione uomo-macchina. Per tale ragione il carrello commissionatore concentra le principali innovazioni presenti sul mercato. E' possibile trovarlo in tre principali configurazioni:

- **Senza sollevamento del piede operatore da terra.**

Chiamati anche commissionatori orizzontali, rappresentano il modello standard e sono utilizzati per il prelievo da terra o da scaffali con merce stoccata al massimo ad altezza uomo.



*Figura 14- Toyota BT Optio*

- **Sollevamento del piede operatore a basse altezze.**

Fanno parte sempre della famiglia dei commissionatori orizzontali e sono utilizzati per il prelievo dei pallet fino al secondo livello della scaffalatura. Si distinguono dai precedenti per la possibilità di sollevare l'operatore in modo che sia in grado di afferrare direttamente la merce stoccata.



*Figura 15- Toyota BT Optio con pedana sollevabile*

- **Sollevamento del piede operatore fino a 3 metri.**

Questa configurazione, classificabile come commissionatore verticale, permette all'operatore di raggiungere direttamente anche livelli dello scaffale più elevati. Inevitabilmente in questa versione vengono inseriti componenti aggiuntivi di sicurezza, come il tettuccio di protezione dell'operatore o le barre di protezione anticaduta, oltre al potenziamento funzionale, come ad esempio la possibilità di avere un montante duplex.

- **Sollevamento della cabina operatore**

Sempre della categoria dei commissionatori verticali vi sono sul mercato prodotti che permettono all'operatore di svolgere le attività di prelievo da scaffalature a grandi altezze. Queste vengono attrezzate con apposite cabine operatore.



*Figura 16- Toyota BT Optio con cabina operatore sollevabile*

Tutte le configurazioni appena viste possono essere fornite con diversi optional. Le forche ad esempio in questa categoria non sono un prerequisite essenziale. Al loro posto si possono installare ad esempio vani porta oggetti.

Questo mezzo sta acquisendo sempre maggior importanza grazie alle caratteristiche attuali del mercato sia retail sia e-commerce. La domanda di prodotti con caratteristiche differenti, ne aumenta considerevolmente la varietà, costringendo a stoccare nei magazzini basse quantità di numerose tipologie di

prodotto. Il commissionatore è ideale in questo contesto, soffrendo al contrario situazioni in cui vengono processate grandi quantità di una sola tipologia di prodotto. La variabilità dei prodotti trattati a magazzino, però, rappresenta sì una condizione sufficiente ma non necessaria.

Le attività di picking hanno un impatto indiretto su altre aree aziendali. La velocità di commissionamento può garantire una certa efficienza nell'evasione dell'ordine oppure generare problematiche al programma delle consegne. I risultati di questo lavoro influiscono inevitabilmente sulla soddisfazione del cliente, che può vedersi arrivare il prodotto nei tempi stabiliti oppure in ritardo. Non solo, talvolta vi è pure la possibilità di ricevere un prodotto errato. Perciò completare queste operazioni correttamente può aiutare le aziende a migliorare sia la reputazione ma soprattutto i profitti.

In questo senso un fattore decisivo è la scelta del metodo di prelievo, che non solo influenza il raggiungimento degli obiettivi ma, ciò che in questo caso interessa maggiormente, determina anche gli strumenti necessari per ottenerlo, quali le attrezzature di movimentazione impiegate o i sistemi di scaffalatura. La decisione di adoperare un commissionatore può quindi essere influenzata anche dalla metodologia di prelievo. A questo proposito si elencano le principali metodologie di prelievo per la gestione degli ordini a magazzino.

### **Picking a Prelievo Singolo**

Il prelievo singolo è il metodo più semplice. L'operatore riceve un elenco di ordini e cammina nel magazzino per prelevare i prodotti prima di imballarli e spedirli. Dal momento che questo comporta molto tempo per i viaggi all'interno del magazzino, il prelievo per singolo ordine funziona decisamente meglio per piccoli magazzini che in genere gestiscono pochi ordini ogni giorno.

La semplicità di questo sistema di prelievo lo rende inoltre economico da implementare ed eseguire, poiché l'evasione degli ordini può essere eseguita manualmente e richiede una tecnologia minima.

### **Batch Picking**

Le tecniche di Batch picking sono impiegate quando è necessario evadere più ordine contemporaneamente. In questo modo gli ordini vengono combinati, incrementando la produttività riducendo i numeri di viaggi necessari nella stessa area del magazzino per prelevare i prodotti. Si riducono i tempi di movimentazione e quindi i costi del lavoro.

La metodologia maggiormente utilizzata è quella in lotti, che combina prodotti per più ordini in un'unica istruzione di prelievo. Una volta che tutti i "lotti" sono stati raccolti e portati in un'area di smistamento dedicata, i lavoratori li ordinano e quindi li imballano e li spediscono. Gli operatori effettuano meno viaggi, risparmiando così tempo e aumentando l'efficienza.

Inoltre, così facendo vi sono molte meno persone che si muovono attraverso i corridoi contemporaneamente, riducendo drasticamente il numero di "strozzature".

### **2.3.4 Carrello Elevatore Classico con Forche a Sbalzo**

Il classico carrello elevatore, chiamato carrello con forche a sbalzo o in inglese forklift, è la versione di cui si è già parlato nell'introduzione al capitolo.

È così famoso che nel mercato è possibile riscontrare una vera e propria ambiguità terminologica. Essendo il primo e più utilizzato, il suo termine è finito per rappresentare sia il modello specifico che l'intera categoria merceologica.

Attualmente il prodotto assomiglia molto ad un golf cart, con l'aggiunta di due forche sul lato anteriore. Le caratteristiche principali sono la robustezza e la capacità elevata di carico. Un altro aspetto da non tralasciare è l'estrema versatilità. Sviluppato inizialmente per un utilizzo prevalentemente esterno, con il tempo ha raffinato le caratteristiche costruttive in modo da poter essere impiegato agevolmente e con precisione anche in spazi chiusi. L'aspetto forse maggiormente distintivo è infatti la possibilità di essere impiegato in contesti molto diversi fra loro.

Ad esempio, viene molto utilizzato nei cantieri costruttivi per spostare materiali pesanti su lunghe distanze e con terreni accidentati.

E' un mezzo che unisce le caratteristiche di un vero e proprio veicolo a quelle di un sollevatore. Basti pensare che su certe versioni la velocità di marcia arriva fino a 20 Km/h contro gli appena 4 Km/h dei transpallet entry level.

La fonte di alimentazione del carrello elevatore può essere anche a motore a combustione interna, alimentato a GPL, metano, diesel o gas naturale. In questo caso però ci si soffermerà solamente su quelli alimentati a motore elettrico.

Per via della sua versatilità e predisposizione a supportare qualsiasi tipo di carico, molta attenzione in fase di progettazione si concentra sullo studio della stabilità del mezzo al variare del peso e della posizione del carico trasportato.

Al fine di dichiarare una corretta capacità di carico, che escluda qualsiasi rischio di incidente durante l'utilizzo, il costruttore deve prendere in esame due aspetti fisici rilevanti: il triangolo di stabilità e il centro di carico.

Il primo fattore rappresenta un'area virtuale sottostante al carrello che determina la stabilità del mezzo. Se il baricentro rimane all'interno di questo triangolo, il mezzo è stabile. All'aumentare del peso del carico trasportato, il baricentro complessivo si sposta ma deve rimanere sempre all'interno dell'area di stabilità. E' utile segnalare come a comportare una variazione del baricentro complessivo

non sia solo il peso del carico. I carrelli elevatori, infatti, hanno la possibilità tramite le funzioni di brandeggio di inclinare o declinare il montante di sollevamento. Quindi il baricentro subisce spostamenti anche in base all'altezza o all'inclinazione del carico.

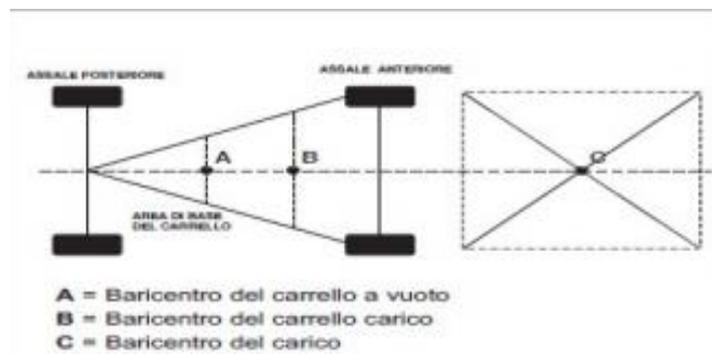


Figura 17- Triangolo di Stabilità [10]

Il centro di carico, invece, non è altro che la distanza tra il baricentro del carico (Q) e l'asse delle ruote anteriore/partenza delle forche di sollevamento (O).

Questa distanza è necessaria per calcolare la stabilità del mezzo che è raggiunta quando la forza di resistenza al ribaltamento è maggiore o uguale della forza di ribaltamento. (Brixia, 2010)

La forza di ribaltamento è definita dal peso dell'oggetto trasportato (P) moltiplicato per il valore di centro di carico (L2).

La forza di resistenza, invece, si calcola moltiplicando il peso netto del carrello (P) per la distanza tra il suo baricentro e l'asse delle ruote anteriori (L1).

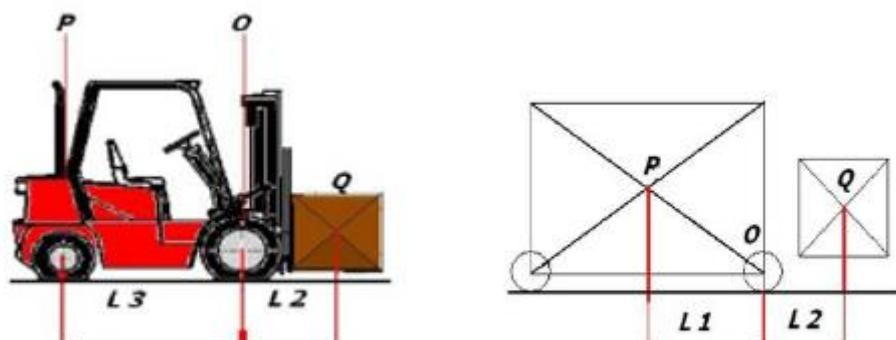


Figura 18- Centro di carico e forze di ribaltamento [10]

Perciò all'aumentare del peso del carico è necessario prendere delle accortezze al fine di evitare di rilasciare sul mercato un mezzo che presenta potenziali rischi di ribaltamento. Quando vi è l'esigenza di fornire un prodotto con una capacità di sollevamento elevata, e le configurazioni strutturali non riescono a garantire un equilibrio tra le forze in gioco, si ricorre ad un sistema sviluppato a partire dagli anni 80' che prende il nome di contro-bilanciamento.

Esso non è altro che un semplice peso di ghisa installato nella parte posteriore del mezzo, che ha lo scopo di aumentare il peso netto del carrello e controbilanciare il carico. Nel caso del carrello elettrico il contrappeso è fissato alle batterie elettriche.

In questa tipologia di carrello elevatore acquista molta importanza la postazione di guida. L'operatore in molti contesti spende la maggior parte del tempo lavorativo nella guida del mezzo. Inoltre, per i motivi sopra citati, anche la configurazione di questa postazione necessita di attenzione, in modo da permettere lo svolgimento delle operazioni senza rischi e impedimenti. Ergonomia, comfort, visibilità e sicurezza sono tutti aspetti non secondari quando si parla di questo prodotto.

Nella sostanza la postazione è una cabina chiusa in cui sono presenti tutti i comandi e gli indicatori. In alcuni modelli il tetto può essere fornito trasparente, in modo da aumentare il campo visivo a disposizione durante le operazioni di movimentazione.

L'insieme dei comandi di guida può essere suddiviso in due categorie: quelli adibiti alle manovre del veicolo e quelli necessari al sollevamento.

### **Manovrabilità**

Oltre alla similarità estetica, il carrello elevatore assomiglia ad un golf cart anche per la manovrabilità. E' dotato di un volante, freno ed i pedali per accelerazione, la marcia avanti e la retromarcia.

La peculiarità risiede nel controllo della sterzata, che viene effettuato utilizzando le ruote posteriori. Lo spostamento dell'asse posteriore consente infatti un elevato

gradi di rotazione durante le manovre ed un'elevata precisione di movimentazione del carico.

### **Sollevamento**

Il controllo di sollevamento comprende le leve per alzare o abbassare le forche.

Queste maniglie permettono di agire direttamente sulle forche grazie al collegamento con una pompa elettrica ad aria installata nella parte inferiore del carrello. Azionando la maniglia, entra in funzione la pompa che inizia ad aspirare aria esterna, convogliandola e forzandola all'interno dei cilindri idraulici di sollevamento.

L'aria che giunge all'interno del cilindro genera un aumento della pressione, che a sua volta genera una forza che fa salire il pistone presente nel cilindro. Il volume aumenta e la pressione diminuisce. Le forche si sollevano.

Quindi per elevare il carico, azionando la maniglia si spinge aria verso i cilindri. All'opposto se si vuole abbassare il carico, la maniglia aziona una valvola che scarica aria dai cilindri.

Alle leve presenti sulla postazione di comando, posso essere aggiunte anche quelle del comando il brandeggio, ovvero l'inclinazione del montante, e della traslazione orizzontale delle forche.

### **2.3.5 Carrello Retrattile**

Rendere le corsie più alte e più strette è un buon modo per creare ed ottimizzare lo spazio all'interno del magazzino, ma può anche rendere difficile la navigazione e la movimentazione dei materiali. I carrelli retrattili sono carrelli elevatori appositamente progettati per essere utilizzati in queste situazioni.

Sono configurati con due gambe laterali che aiutano a distribuire e stabilizzare il carico. Le ruote si trovano posteriormente sotto l'operatore, il che aiuta a creare un raggio di sterzata più stretto.

L'abilità chiave è che può estendere le sue forche oltre il compartimento (Figura). Ciò consente agli operatori di guadagnare spazio e raggiungere con maggiore facilità livelli più elevati della scaffalatura, rispetto al carrello standard.

Presenta inoltre un vano aperto che consente all'operatore di avere una maggiore visibilità. Benché eccellenti per l'uso in interni, i carrelli retrattili non sono adatti per i lavori all'aperto a causa del loro spazio quasi nullo tra la parte inferiore del carrello ed il suolo.



*Figura 19- Funzione di estensione delle forche*

### **2.3.6 Carrello Elevatore a Grande Altezza**

I carrelli elevatori a grande altezza sono un'altra categoria specificatamente progettata per operare in corsie strette. In inglese vengono abbreviati con il termine VNA, very narrow aisle. Essendo una definizione non stringente, all'interno potrebbero essere considerati diversi prodotti. Ad esempio, basandosi

esclusivamente sulla definizione di corridoi stretti, i carrelli retrattili potrebbero essere considerati tali.

Analizzando il mercato e le peculiarità, due sembrano essere le tipologie definibili come carrelli a grande altezza:

- Carrelli commissionatori verticali sopra i 3 metri
- Carrelli Trilaterali.

Questi mezzi sono accomunati soprattutto per il fatto di consentire direttamente all'operatore di raggiungere quote fino ai 15 metri circa. Ciò consente una visione chiara e accurata, velocizzando i tempi del processo. Inoltre, in questo modo è possibile svolgere e gestire operazioni di picking.



*Figura 20- Cabina con operatore per operazioni in altezza [11]*

All'opposto nei carrelli retrattili, l'operatore può trovarsi fino a 13 metri di distanza dal pallet che deve essere processato.

Di seguito si presenta perciò il carrello trilaterale, rimandando al paragrafo 2.2.3 per le caratteristiche del carrello commissionatore.

Questo carrello è composto da una cabina operatore sollevabile, cui frontalmente è installato un ulteriore montante con forche. Questo montante più piccolo, che si aggiunge a quello principale, è in grado di ruotare di 180 gradi, permettendo di prelevare i carichi all'interno della corsia indistintamente tra la scaffalatura di

destra o di sinistra. Questo montante supplementare fornisce all'operatore generalmente altri 2 metri di altezza.

Il carrello trilaterale funziona su un sistema fisso a guida laser o su guida a terra che trasporta il mezzo all'interno del corridoio, consentendo al carrello di raggiungere velocità fino a 16 km/h (Figura). Ciò garantisce una movimentazione dei pallet estremamente rapida con produttività decisamente superiore rispetto ai carrelli elevatori retrattili.

E' una macchina estremamente specializzata e pertanto deve essere utilizzata solo per applicazioni di movimentazione di grandi volumi. Sono appositamente progettati per il funzionamento a corridoio stretto e quindi non possono essere utilizzati per altre applicazioni come carico e scarico di camion.

In conclusione, questa tipologia permette di ridurre gli errori dell'operatore in quanto forniscono una visione chiara dei carichi, riducendo anche il rischio di danni alla scaffalatura. Permettendo di progettare layout con scaffalature avente fino a 1,5 metri di larghezza nel corridoio e con altezza di 15 metri, genera un aumento considerevole dello spazio di immagazzinamento e uno sfruttamento efficiente della metratura. Di contro, però, il carrello trilaterale richiede ulteriori investimenti di capitale, sia per unità di backup per i periodi di manutenzione e di guasto, sia in altre tipologie di carrelli che rimangono comunque necessarie per alte movimentazioni

Questo non è sicuramente un dettaglio di poco conto, dato che questo carrello risulta significativamente più costoso rispetto ai carrelli retrattili standard o ai carrelli elevatori.

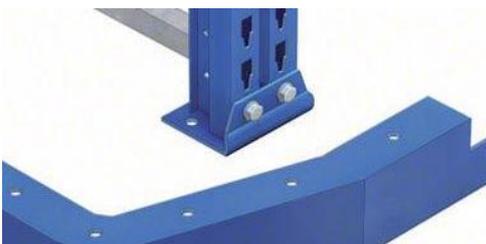


Figura 22- Imbocco dei corridoi per carrelli a guida meccanica [12]



Figura 21- Modalità a guida induttiva [12]

Tabella 2- Riepilogo delle tipologie di carrelli elevatori

	<b>Caratteristica chiave</b>	<b>Utilizzo consigliato</b>
<b>Transpallet</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Walk</li> <li>▪ Ride on</li> <li>▪ Site On</li> </ul>	Dimensioni compatte, facilità di utilizzo	Movimentazione dei pallet in spazi ristretti e per varie distanze
<b>Stoccatore uomo a terra</b>	Possibilità di sollevamento a media altezza	Gestione semplice della scaffalatura
<b>Commissionatore</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orizzontale</li> <li>▪ Verticale a basse altezze</li> </ul>	Rapidità di gestione, svariate configurazioni	Inventario e picking di magazzino
<b>Con forche a sbalzo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Controbilanciato</li> </ul>	Eccellente capacità di sollevamento, versatilità	Sollevamento e trasporto di oggetti nelle brevi distanze. Molto versatile, utilizzabile sia indoor che outdoor
<b>Retrattile</b>	Stabilità delle forche e possibilità di allungamento frontale	Per precise operazioni di prelievo in corsie strette.
<b>A grande altezza</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Trilaterale</li> <li>▪ Commissionatore verticale</li> </ul>	Sollevamento in altezza della cabina operatore	Per corsie strette con scaffalature fino a 18 metri

### **3. Innovazioni e Tecnologie 4.0 nei Carrelli Elevatori con Guidatore**

Alla luce delle funzioni e delle caratteristiche proprie di ciascuna categoria di carrello elevatore, in questo capitolo si riassumono le innovazioni più importanti presenti sul mercato.

#### **3.1 Metodologia di analisi**

La ricerca è stata eseguita analizzando i domini internet dei principali costruttori indicati nella figura 7. Oggetto di studio sono state inoltre le schede tecniche utilizzate al capitolo 2, i manuali di utilizzo (ove presenti) e le pagine informative/pubblicitarie di ciascun modello.

#### **3.2 Transpallet Elettrico**

Il carrello elettrico transpallet è il primo modello da cui si è partiti per la ricerca delle innovazioni sul mercato.

Da subito è possibile anticipare come il transpallet non abbia evidenziato sviluppi significativi rispetto all'architettura tradizionale. Tuttavia, questo aspetto non deve meravigliare. Il transpallet è per sua natura un prodotto essenziale, il cui costo contenuto è un fattore chiave di successo. Pertanto, è logico non aspettarsi grandi stravolgimenti nel tempo.

Le aziende leader hanno comunque introdotto qualche accorgimento in grado di migliorare l'efficienza del prodotto.

Innanzitutto, sui nuovi modelli le batterie elettriche impiegate sono le celle agli ioni di litio, che sostituiscono le tradizionali al piombo. Questo cambiamento può passare inosservato se non si evidenziano i numeri vantaggi di questa nuova batteria agli ioni di litio. Le celle agli ioni di litio sono invece un tassello

fondamentale per lo sviluppo dell'IoT, assicurando la trasformazione dei dispositivi elettronici in solidi strumenti di raccolta dati. Le ragioni si spiegano facilmente.

Innanzitutto, a parità di volume, sono in grado di fornire più energia e densità di potenza rispetto alle batterie tradizionali. Secondariamente non sono suscettibili ad eventuali sbalzi di temperatura o di corrente. Terzo, e forse più importante aspetto, sono integrabili con sistemi di monitoraggio in grado di fornire informazioni sul loro stato. Constarne il livello di usurabilità era un'operazione veramente difficoltosa sulle precedenti batterie al piombo.

Come risultato è così possibile ottenere un singolo ciclo di ricarica di durata maggiore e la riduzione generale dei fermi macchina per manutenzione o guasti. In pratica l'installazione di queste batterie garantiscono ad un transpallet l'affidabilità necessaria per svolgere operazioni di immagazzinamento di dati.

Questa tecnologia presenta a sua volta alcuni sviluppi particolari. Ad esempio, il costruttore Jungheinrich ha introdotto un sistema di ricarica molto funzionale. Le batterie assumono la forma di una valigetta, che è possibile estrarre dal mezzo, facilitando e velocizzando le operazioni di ricarica o di sostituzione batterie.

Infine, ulteriore aspetto, sul quale è stato possibile notare lo sforzo dei vari produttori in termini di innovazione, è la sicurezza. Diversi modelli presentano una tastiera di accesso con codice numerico. Questo dispositivo ha l'obiettivo di controllare e limitare l'utilizzo del mezzo solo al personale autorizzato, che per avviarlo, richiede l'inserimento del codice di sblocco. Il sistema inoltre agisce anche sullo spegnimento automatico dopo un certo tempo di inattività.

Nelle configurazioni walk-around, ride-on le innovazioni disponibili si fermano esclusivamente a questo livello, mentre nella versione sit-on si intravede qualcosa in più. L'azienda Still, ad esempio, fornisce questa versione equipaggiandola di un

display, sul quale vengono rappresentate all'operatore le principali informazioni sul funzionamento, come il livello di carica rimanente o i km percorsi.

Nei transpallet gli sviluppi sembrano essere minimi o quanto meno non appariscenti. Tuttavia, già a partire da questa categoria, è possibile integrare il mezzo con sistemi hardware in grado di registrare eventi e dati di funzionamento.



Figura 23- Batteria estraibile Jungheinrich



Figura 24- Tasiera di Accesso Crown

### 3.3 Stoccatore Elettrico Uomo a Terra

Lo stoccatore presenta una forte somiglianza tecnica con il transpallet. Questo implica che le innovazioni non si possano discostare molto da quelle appena presentate. Tuttavia, essendo un prodotto in grado di sollevare carichi fino ad un'altezza di 6 metri, alcuni costruttori hanno sviluppato sistemi in grado di assistere l'operatore durante le procedure, al fine di limitare qualsiasi rischio di ribaltamento.

Il sistema più completo sul mercato è sicuramente il "Load Management Advanced" dell'azienda Linde. Esso consente un controllo sicuro delle operazioni ricorrendo ad un supporto combinato di avvisi acustici e visivi. Il carrello viene dotato di un display a colori, nel quale vengono riassunte informazioni quali la portata consentita, il peso del carico alle forche, l'altezza di sollevamento massima

consentita e quella attuale. Quest'ultima viene rilevata attraverso un sensore ad ultrasuoni, che inoltre emette un segnale acustico di avvertimento all'avvicinarsi dei valori limiti.

I segnali di avvertimento sono presenti anche visivamente nel monitor. Un triangolo di colore giallo avverte dell'avvicinamento al limite di carico. Nel caso questo venga ignorato e superato, il sistema in automatico blocca il sollevamento. Nella figura sottostante è possibile osservare la schermata durante le operazioni di sollevamento.



Figura 25- Sistema ausiliario Linde di sollevamento

### 3.4 Carrello Commissionatore

Nel capitolo 2 si è visto come il carrello commissionatore rappresenti uno strumento fondamentale per le operazioni di raccolta degli ordini. E' emerso come la gestione e la programmazione del picking sia molto importante al fine di ottimizzare i tempi e le risorse in gioco. Per questo motivo, i commissionatori sono al centro di numerosi studi pratici volti a escogitare nuove soluzioni tecniche e digitali in grado di velocizzare e rendere più semplice l'interazione tra il mezzo e l'operatore. Sul mercato sono già presenti diverse applicazioni ma, per il momento, concentrate tutte esclusivamente sul comando a distanza.

Due sono le aziende pioneristiche di questa particolare innovazione: Crown e Jungheinrich.

La prima ha sviluppato il controllo a distanza “Quick remote”. Si tratta di guanto indossabile dall’operatore che permette di controllare l’avanzamento del mezzo senza dover accedere alla zona comandi. Così facendo l’operatore evita continuamente di salire sulla piattaforma. Una volta eseguito un task di prelievo orizzontale, l’operatore si può in questo modo concentrare su quello successivo. E’ così possibile dirigersi direttamente allo scaffale successivo e, premendo un pulsante, viene impartito a distanza l’istruzione di avanzare al carrello commissionatore.

Questa soluzione permette di evitare numerosi sali e scendi, che si traducono sicuramente in un risparmio di tempo e volendo anche in una riduzione del tasso di infortuni collegato a patologie muscolo-articolari. L’operatore, inoltre, può concentrarsi maggiormente sulla gestione del prelievo, riducendo contemporaneamente il tasso di errore.

Se nel sistema di Crown lo spostamento del commissionatore rimane in carico all’operatore, nonostante il comando sia impartito a distanza, l’applicazione “easyPilot Follow“ Jungheinrich è in parte automatizzata.

Uno scanner laser è installato nella parte anteriore del mezzo ed individua gli eventuali ostacoli lungo il percorso. Un ricevitore a radiofrequenza a standard UWB, che permette uno scambio di miliardi di impulsi in tempi inferiori al nanosecondo, è collegato invece ad un controller che l’operatore porta con sé. In questo modo il mezzo avanza in modo automatico seguendo gli spostamenti dell’operatore e si ferma in anticipo solo nel caso in cui rilevi un pericolo. Si tratta di sistema leggermente più avanzato, pur rimanendo una soluzione non completamente automatizzata.

Il carrello viaggia solamente lungo un lato prestabilito della scaffalatura, muovendosi in avanti o indietro. Non prende decisioni a fronte di un'analisi dei dati, non è connesso con l'ambiente o con i mezzi circostanti, si limita ad arrestarsi in presenza di un ostacolo e a scambiare dati con un telecomando che l'operatore deve necessariamente indossare.



Figura 26- Guanto Crown



Figura 27- Telecomando remoto Jungheinrich

### 3.5 Carrello Elevatore Classico con Forche a Sbalzo

Il carrello elevatore con forche a sbalzo è un prodotto molto versatile che difficilmente viene impiegato in operazioni altamente specifiche. La grande differenza con altre categorie, commissionatori e carrelli a grande altezza su tutti, è la difficoltà di trovare applicazione proprie ed esclusive.

In aggiunta, le tecnologie adottate in questo mezzo si trovano indistintamente anche su altri carrelli, sia perché è il carrello maggiormente utilizzato a livello globale, sia perché impiegato in numerosi settori industriali, nel carrello elevatore con forche a sbalzo è possibile trovare una completezza di sistemi cyber-fisici senza eguali.

Di seguito quindi si presenta una raccolta dei sistemi hardware adottati su questo carrello elevatore, sul quale vengono attualmente già integrati sensori in grado di rilevare e analizzare le informazioni più disparate. In base al tipo di monitoraggio svolto, è possibile catalogare i vari utilizzi dei sensori secondo quanto segue:

- Collisione

I sensori di collisione hanno il compito di rilevare gli ostacoli durante le operazioni di manovra, generando avvisi e in certi casi bloccando il mezzo prima dell'impatto. I sensori utilizzati sono generalmente lettori a radiofrequenza. Lo svantaggio principale di questa tecnologia è che richiede l'installazione di molteplici "trasmettitori", uno per ciascun ostacolo da individuare. I sensori a radiofrequenza inoltre non sono in grado di per sé di rilevare gli operatori che transitano passivamente all'interno del magazzino.

Un sistema più evoluto, in grado di sopperire a questa problematica, è proposto dalla società SIS, spin off dell'azienda Cy.Pag, leader nel settore automazione e partner di compagnie quali Renault, Audi e Still. La soluzione proposta vede l'utilizzo di sensori ad ultrasuoni, in grado di rilevare ostacoli ad una distanza di 4 metri e con una copertura fino a 180° gradi sul lato posteriore del carrello. Il sistema inoltre permette di configurare tre zone per differenziare i livelli di impatto.

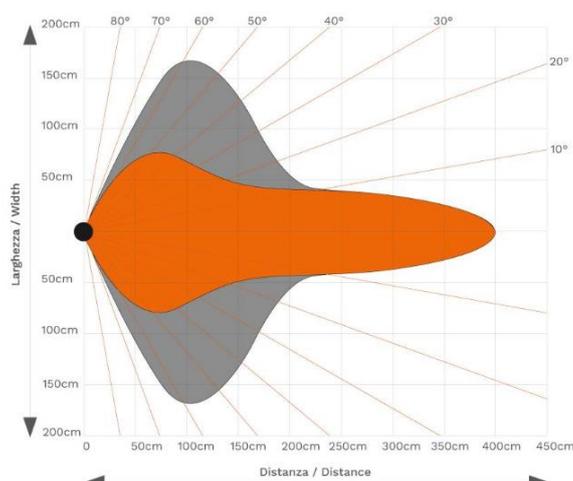


Figura 28 - Distanza e angolazione di rilevamento Sis

- Velocità di marcia

Il controllo della velocità di marcia è un aspetto fondamentale per la sicurezza dell'intero magazzino. Sia per quanto riguarda il guidatore sia i lavoratori passivi e le strutture. Per questa ragione si trovano in commercio carrelli con un sistema interno di autoregolazione della velocità in base a diversi parametri.

Il controllo di stabilità in curva, in base alla direzione di marcia e all'angolo delle ruote sterzanti, regola la velocità rilevata in precedenza dai sensori. In presenza di rampe, in automatico il sistema fissa la velocità costante, evitando sbalzi o perdite di stabilità. Queste due funzioni sono presenti su tutti carrelli elevatori. Produttori come Toyota o i marchi del gruppo Kion generalmente assegnano a questi sistemi, soprattutto a livello pubblicitario, una dicitura con il suffisso "control".

Più sofisticata e sicuramente più innovativa è la regolazione della velocità in base ad aree prestabilite del magazzino, che a sua volta può svilupparsi attraverso differenti soluzioni:

- Passaggio Interno/Esterno: il carrello percepisce la presenza di un soffitto e regola di conseguenza la velocità di marcia. Le tecnologie maggiormente impiegate per questa funzionalità sono i sensori ad infrarossi, in grado di individuare all'interno del campo visivo la presenza di oggetti. Il grosso neo è rappresentato dal costo elevato in rapporto alla distanza di rilevamento, che oltretutto non risulta completamente affidabile oltre i 10 metri. L'azienda Linde per questa soluzione di rilevamento presenta una tecnologia radar chiamata "Speed Assist". Il funzionamento è semplice, un dispositivo è installato sul tetto del carrello e funziona contemporaneamente sia da trasmettitore che da ricevitore. E' possibile così individuare la presenza di un soffitto in quanto il segnale inviato rimbalza sulla superficie e torna indietro. Al di là che si opti per una tecnologia ad

infrarossi o a radar, questa soluzione è l'ideale se all'interno del magazzino la velocità è uguale e costante in tutte le aree.

- Ingresso in zona: questa soluzione è scelta se all'interno del magazzino vi sono zone che necessitano di una particolare velocità di marcia. La tecnologia utilizzata è quella dei sensori a radiofrequenza. All'ingresso e uscita di ciascuna zona sono inseriti tag RFID che comunicano l'informazione di modulare la velocità al carrello che transita.
- Oggetto/zona pericoloso: molto simile alla funzione di anticollisione permette però di regolare e ridurre la velocità in presenza di un oggetto specifico e prestabilito.

- Batteria e Risparmio Energetico

L'utilizzo delle celle agli ioni di litio ha facilitato la raccolta di informazioni sullo stato della batteria elettrica. Grazie a sensori integrati è possibile con estrema precisione e affidabilità ottenere parametri fondamentali come corrente, tensione e temperatura. Questi, grazie all'utilizzo di algoritmi, vengono successivamente tradotti in informazioni sul livello di carica e soprattutto sullo stato di invecchiamento della batteria per un'eventuale sostituzione.

- Temperatura

Per tenere traccia del corretto funzionamento del mezzo e prevedere in anticipo eventuali guasti alle componenti meccaniche vengono adottati sensori di temperatura nei punti critici.

Solitamente le parti monitorate sono l'impianto di trasmissione e quello idraulico. I sensori vengono installati nella coppa dell'olio o all'interno del corpo valvola. In

questo modo è possibile monitorare l'andamento della temperatura, generando un segnale di allarme in caso di valore anomalo. In questi casi con molta probabilità la temperatura elevata è sinonimo di un problema medio grave ad una componente meccanica che ne implica la sostituzione. L'utilizzo dei sensori permette di individuare la problematica appena prima che si verifichi il punto di rottura, permettendo in una certa misura la pianificazione dell'intervento di manutenzione e il reperimento delle relative parti di ricambio.

- Altezza sollevamento

I sensori possono essere impiegati anche per comunicare informazioni utili durante le procedure di sollevamento. Ad esempio, quando è necessario sapere l'altezza istantanea delle forche è possibile utilizzare sensori ad ultrasuoni come nel sistema di sollevamento di Linde già descritto. Questa tipologia di sensore permette inoltre di misurare fino a che punto le forche sono inserite al di sotto del pallet, garantendo un controllo ed un trasporto adeguato.

Un'altra tecnologia implementabile per rilevare il punto di altezza è quella laser, anche se bisogna ricordare la criticità nella misura all'aumentare dell'altezza.

- Presenza operatore

Un'ultima funzionalità interessante che è resa possibile dall'utilizzo dei sensori è il rilevamento della presenza operatore. Se nei transpallet, stocicatori e commissionatori il sistema adoperato per controllare e limitare l'utilizzo consiste in un tastierino a codice numerico, nei carrelli con forche a sbalzo, e più in generale nei carrelli con postazione operatore fissa, si trovano soluzioni più evolute.

La prima è un sistema abbastanza semplice e vede l'impiego di un sensore meccanico sensibile alla pressione. Esso rileva l'occupazione del sedile da parte

del guidatore, come avviene nelle autovetture per assicurarsi che la cintura venga allacciata.

La seconda soluzione è adoperata dall'azienda Crown sui prodotto top di gamma. I sensori in questo caso non sono di tipo meccanico ma sono a presa capacitativa, inserito all'interno di una manopola di pilotaggio. Se la mano del guidatore lascia la presa, il motore si arresta e così anche la pressione idraulica.

Il rilevamento della presenza dell'operatore, oltre che per fini statistici di ottimizzazione, permette di evitare azionamenti involontari del carrello e di risparmiare batteria.

### **3.6 Carrello Retrattile**

Il carrello retrattile è un modello sul quale possibile individuare un numero elevato di funzionalità, dovuto prevalentemente alle condizioni di utilizzo del mezzo.

Il punto debole dei carrelli retrattile è l'enorme distanza che vi è tra il punto visivo dell'operatore e quello di inserimento in quota delle forche. Come visto, infatti, il modello più prestante può spingersi fino a 18 metri di altezza. Per questo motivo i fornitori sono spinti a proporre soluzioni in grado di colmare questo handicap, consentendo al guidatore di manovrare ed effettuare le operazioni in sicurezza e il più rapidamente possibile.

La soluzione maggiormente diffusa è l'utilizzo di telecamere che da permettono una visione chiara e dettagliata della posizione in cui prelevare o sistemare il pallet. Nelle figure 29 e 30 troviamo la visualizzazione a monitor installata sui prodotti a marchio Linde e Still. Entrambe sono fornite e sviluppa dal partner esterno Motec.



Figura 29- Telecamere su carrello Linde



Figura 30- Telecamere su carrello Still

Una soluzione più complessa si trova invece sui carrelli a marchio Crown. Al fine di migliorare il senso di padronanza sul mezzo ha sviluppato un vero e proprio sistema operativo, chiamato “Gena”. Tramite questo software integrato, che viene mostrato su un display touchscreen a 7 pollici, vengono elaborati dati utili sulle prestazioni e presentati all’operatore sottoforma di widget.

Per altezze non troppo elevate un sistema più basilare è l’utilizzo di una luce laser di posizionamento in grado di proiettare la direzione e la posizione delle forche. In questo modo l’operatore riesce immediatamente a vedere se il carrello è posizionato correttamente per il prelievo del pallet, senza andare per tentativi. Questo si traduce in un efficace modo per risparmiare tempo e prevenire eventuali danni al carico o alla struttura. Il laser è azionabile tramite un pulsante on/off. Un’altra applicazione interessante coinvolge le procedure di salita e discesa. Sui carrelli retrattili è possibile programmare il sistema di controllo perché in automatico possa raggiungere l’altezza prestabilita. In fase di collaudo vengono inserite in memoria le altezze dei vari ripiani presenti a magazzino. In questo modo se l’operatore deve recuperare un pallet al terzo livello è sufficiente, azionare il comando preimpostato per sollevare in automatico le forche all’altezza necessaria.

Ultima ma non meno importante, sul fronte risparmio energetico sempre l’azienda Crown, molto attiva su questo tipo di prodotto, ha presentato in esclusiva un

sistema di abbassamento forche a recupero di energia. L'elevata energia potenziale, dovuta all'escursione tra punto massimo di sollevamento e punto zero, permette di sfruttare l'inerzia nella fase discendente per ricaricare la batteria. La discesa del carico grazie a questo sistema permette di spingere l'olio idraulico all'interno di una pompa che fa girare il motore in senso inverso, ricaricando la batteria.

### **3.7 Carrello Elevatore a Grande Altezza**

I carrelli a grande altezza vengono utilizzati in corsie strette e con altezze di sollevamento elevate. Tuttavia, supportano operazioni di picking che richiedono un elevato tasso di produttività. Sono caratterizzati da un'architettura complessa e necessitano di una progettazione attenta della loro infrastruttura. A differenza delle altre tipologie richiedono inoltre un investimento considerevole.

Se da un lato questi punti costituiscono un vincolo nell'adozione e impongono stretti requisiti di progettazione, allo stesso tempo hanno permesso la commercializzazione con successo di sistemi avanzati.

Gli ultimi modelli di carrelli VNA possiedono infatti un discreto grado di automazione, riducendo in fase di trasporto i compiti dell'operatore. In particolare, con la presenza degli ultimi sistemi, il carrello risulta in grado di spostarsi e raggiungere autonomamente le varie postazioni di prelievo. Non solo. Contemporaneamente lungo il percorso elabora l'ottimo rapporto tra marcia e sollevamento in modo tale da raggiungere il punto di destinazione nel minor tempo possibile. In questo modo vi è pure un risparmio energetico

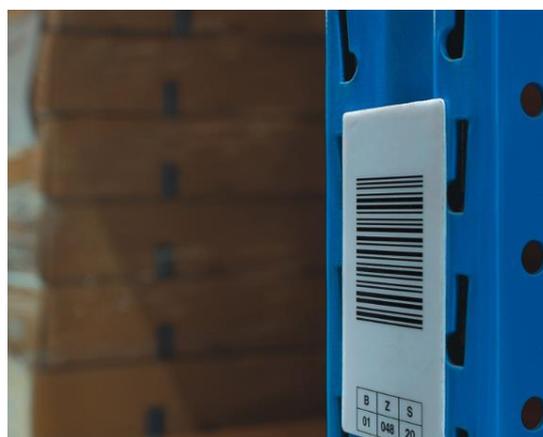
Perché il funzionamento avvenga correttamente, il magazzino deve essere mappato e catalogato. Grazie alla disposizione di tag RFID o etichette a codice a barre, il carrello, provvisto di apposito lettore a radiofrequenza, è in grado di identificare

aree, scaffali e posizioni all'interno del magazzino. In parole povere è in grado di sapere con precisione la propria posizione. Questa viene confrontata con la posizione del pallet o del pacco da raggiungere. La posizione di destinazione è inserita manualmente dall'operatore o impartita direttamente dal sistema centrale al controller del carrello attraverso connessione WiFi. L'operatore durante il processo si limita così a controllare che le varie operazioni di spostamento avvengano correttamente e concentrando i suoi sforzi sulla gestione e costruzione dell'ordine.

Questa applicazione risulta la più completa in termini di tecnologia 4.0 ed è presente su tutti i carrelli a grande altezza dei principali produttori. Tenzialmente prende il nome di APS, auto positioning system.



*Figura 31- Percorso ottimizzato tramite sistema APS [19]*



*Figura 32 - Etichetta con codice a barre installata su scaffalatura*

### 3.8 Riepilogo

Contemporaneamente alla ricerca delle innovazioni di prodotto, si è cercato di avere uno sguardo più ampio sui progetti sostenuti dai leader del mercato. Ciò che si è osservato è che i costruttori non sono concentrati esclusivamente sullo sviluppo del prodotto, ma investono anche sull'offerta di servizi complementari.

A questo proposito, infatti, è bene menzionare la fornitura di software in grado di comporre ed analizzare i database provenienti dalle registrazioni dei vari carrelli elevatori. Nella maggior parte dei casi, questi software sono implementati su piattaforme web-based, tecnologia ormai consolidata e fortemente scalabile. Essa non ha una relazione diretta con il singolo mezzo ma viene adottata a livello centrale. La prima tecnologia ad essere appieno sfruttata nel processo di industria 4.0 è il cloud computing, proprio per la sua accessibilità e la possibilità di essere ammortizzabile, con un solo investimento, su tutto il parco carrelli ed il magazzino. Nelle figure 34 e 33 vengono mostrate le applicazioni fornite dai produttori Toyota e Crown, che posso essere accessibili da qualsiasi dispositivo attraverso browser Internet.

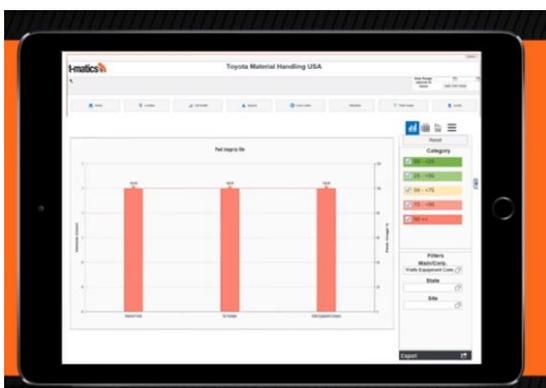


Figura 34- Software Toyota T-metic

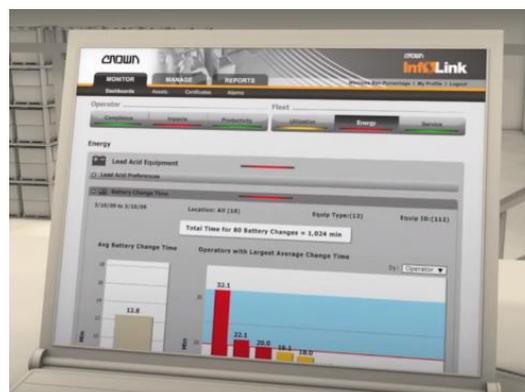


Figura 33- Software Crown Info link

L'analisi dei dati raccolti è perciò affida gran parte al venditore. Prevalentemente le aziende non hanno ancora sviluppato competenze necessarie allo sfruttamento dei dati registrati. I software menzionati si occupano di elaborare ed estrapolare

informazioni a partire dai dati grezzi, anche se il grado di analisi è ancora ben al di sotto del suo potenziale

A fronte delle applicazioni fin qui presentate si è costruita la tabella che mette in relazione il livello di sviluppo e presenza delle differenti tecnologie nelle varie categorie di carrello elevatore.

Tabella 3- Tecnologie 4.0 e Carrelli Elevatori

	Transp	Stoccat.	Commis.	Forche	Retrattile	VNA
CC	●	●	●	●	●	●
IoT	●	●	●	●	●	●
BDA	●	●	●	●	●	●
CS	●	●	●	●	●	●
VR	-	-	-	●	●	●
ADM	-	-	●	●	●	●
AU	-	-	-	-	-	-
AM	-	-	-	-	-	-

● Livello alto   ● Livello moderato   ● Livello basso

Come abbiamo visto la tecnologia Cloud Computing è quella che ha maggiormente raggiunto il proprio potenziale e potendo essere sfruttata indipendentemente dalla tipologia di carrello elevatore presente a magazzino.

Nel mercato vi è inoltre una forte presenza di sistemi cyber-fisici. Le possibili applicazioni attraverso l'utilizzo della tecnologia IoT, viste sul carrello con forche a sbalzo, ne sono un esempio. Ovviamente in questo caso il grado di sviluppo e il tasso di presenza sono proporzionali alla complessità e alle funzionalità interne al carrello. Lo stesso discorso vale per le competenze di analisi dei big data. In questa

fase però il mercato è concentrato prevalentemente alla strutturazione di un magazzino connesso e sensoriale, piuttosto che sulla ricerca e sviluppo di competenze di analisi. La tecnologia IoT si trova perciò ad un livello maggiore rispetto alla tecnologia Big Data & Analytics. Di questo aspetto se ne chiarirà maggiormente il discorso nel paragrafo 4.3.

Con la raccolta di informazioni, quali ad esempio il tempo di utilizzo dei carrelli, gli accessi eseguiti dall'operatore, emergono problematiche di privacy e sicurezza. Per questa ragione parallelamente al Cloud Computing, sempre a livello centrale, si sviluppano tecnologie di Cybersecurity. Nella pratica, però, non vengono in nessuno modo menzionate le misure tecniche coinvolte.

Le tecnologie non ancora menzionate, al contrario, vedono implicazioni scarse o non ancora rese note.

Il sistema semi-automatizzato presentato per i carrelli VNA rappresenta forse l'unica soluzione che può essere definita di Advance Manufacturing. La regolazione automatica della velocità, i sistemi di controllo remoto sui commissionatori o il posizionamento automatico delle forche nei carrelli retrattili si possono considerare tutti casi border line.

Tramite una ricerca generica e scollegata è stato possibile registrare i primi sviluppi della Simulation e Virtual Reality nei carrelli elevatori. La tecnologia può essere utilizzata per fornire corsi di formazione per le tipologie di carrelli che necessitano di patente. La società più attiva su questo fronte è l'americana "Forklift Simulator", che alla fiera ProMat2019 di Chicago era presente allo stand del produttore di carrelli Yale. L'utilizzo della simulazione promette in questo caso di accelerare l'apprendimento, diminuendo il rischio di danni o incidenti successivi.



*Figura 35- Esposizione allo stand Yale durante la fiera ProMat del 2019*

Infine, attualmente sul mercato non sembra esservi traccia delle tecnologie di Additive Manufacturing e Augmented Reality. Sia attraverso una ricerca letteraria/accademica sia attraverso ricerca internet non è infatti stato possibile trovare informazioni che collegassero tali tecnologie ad applicazioni concrete sul mercato.

## **4. Conclusione**

### **4.1 Benefici del Lavoro di Tesi**

Di seguito si presentano i benefici principali del lavoro.

In primo luogo, la tesi si concentra sul significato di industria 4.0, terminologia per certi versi astratta e per la quale non è stato possibile preliminarmente trovare una definizione univoca. Partendo dall'origine del termine, attraverso un elenco delle differenti tecnologie coinvolte, si è fatta chiarezza sulle sue dinamiche. Ciò permette a qualsiasi soggetto interessato di farsi un'idea sullo sviluppo industriale attualmente in atto.

Secondariamente, mediante una descrizione della storia e delle differenti categorie, è stato possibile presentare il carrello elevatore in tutti i suoi aspetti. Una prima problematica emersa durante l'approccio a questa tematica, infatti, è stata la carenza, sia a livello letterario che digitale, di articoli che forniscano una classificazione dei carrelli elevatori esistenti e del loro relativo scenario di impiego. Per tale motivo si è provveduto per ciascuna categoria ad elencare, oltre alle caratteristiche tecniche, anche le procedure di funzionamento e il contesto di utilizzo. Ciò fornisce un riassunto preliminare, ma sufficiente esplicativo, sui carrelli elevatori, in particolar modo per i non esperti del settore.

Infine, l'ulteriore ricerca focalizzata sulle innovazioni di prodotto fornisce un quadro aggiornato sull'andamento del mercato in termini di industria 4.0. Il risultato ottenuto in questa fase può essere utile principalmente per due scopi.

Un costruttore può servirsi di queste informazioni per strutturare un benchmark e capire il proprio grado di sviluppo tecnologico rispetto ai competitors.

Un'azienda terza, in possesso di competenze collegate alle tecnologie 4.0, ad esempio una società che sviluppa software, può rendersi conto se vi sia

l'opportunità di proporre soluzioni non ancora presenti in questo mercato ma già impiegate in altri settori.

## **4.2 Limitazioni del Lavoro di Tesi**

Le ricerche effettuate in questa tesi presentano dei limiti. Nell'analisi delle innovazioni sono stati consultati i siti internet dei principali produttori. Ciò permette solo di fornire un andamento generale dell'industria 4.0 all'interno di questo mercato.

Il campione di aziende selezionato, nonostante conti le maggiori risorse sul mercato in termini di R&D, potrebbe non contemplare l'esistenza e la presenza di eventuali spin off o aziende di nicchia intente nella progettazione e sviluppo di soluzioni maggiormente innovative.

Inoltre, la ricerca attraverso siti internet presenta il rischio di non catturare adeguatamente gli ultimi progetti, ed i conseguenti traguardi, in cui i vari costruttori sono realmente impegnati.

Per tali motivi la trattazione fornisce solo un'idea indicativa, ma allo stesso tempo può essere una base da cui partire per un'eventuale ricerca sul campo maggiormente approfondita.

## **4.3 Sviluppi Futuri**

L'obiettivo dell'industria 4.0 è quello di creare una struttura connessa in cui attrezzature, macchinari, persone e tecnologia lavorano in perfetta simbiosi, permettendo decisioni decentralizzate ed in tempo reale fondate su dati storici.

Aumento di produttività, efficienza, sicurezza e sostenibilità sono i vantaggi promessi.

Questi slogan miracolosi accompagnati da terminologie complesse come ad esempio i Big Data presentano tuttavia un lato potenzialmente scoraggiante. La definizione di industria 4.0, che in molti casi comprende tutto e niente, rischia di diventare sinonimo di investimenti elevati ed applicazioni lontane dalla realtà.

Rielaborando una famosa citazione del fisico William Thomson Kelvin, lo sviluppo di un ambiente 4.0 può essere facilitato considerando un concetto fondamentale: “Ciò che se non si riesce a misurare, non si può controllare”. Nell’incertezza che caratterizza qualsiasi innovazione dirompente, per l’industria 4.0 possiamo identificare nella registrazione dei dati e nella creazione di un ambiente connesso un’eccellente strategia in grado di porre le fondamenta per un successivo sviluppo.

Il punto di partenza deve essere perciò quello di strutturare e predisporre un sistema di raccolta dati. In quest’ottica, il percorso intrapreso nel mercato dei carrelli elevatori è sicuramente quello corretto. Si è visto infatti la presenza di numerose applicazioni di sensori integrati in grado di estrarre dati dalle varie operazioni di lavoro. Prestazioni dell’operatore, stato di utilizzo del mezzo, spostamenti dei prodotti all’interno del magazzino, tempi di viaggio, tempi di sollevamento, tempi di inattività sono tutte metriche intuitive che si stanno già raccogliendo nei vari ambienti industriali.

Tuttavia, non è necessario che tutti i dati registrati siano da subito rivolti ad un obiettivo specifico. Un fattore di successo può essere quello di acquisire fin da subito quanto più dati possibili, creando un archivio storico. Maggior tempo il sistema sarà sotto osservazione, maggiori saranno domani i parametri a disposizione per eseguire un processo di ottimizzazione. Inoltre, non è nemmeno essenziale dover partire equipaggiando in un colpo solo l’intero parco carrelli con sensori di connettività. E’ possibile inizialmente selezionare solamente uno stabilimento, un’area o una zona sviluppando situazioni ibride che permettano un primo studio di fattibilità.

Parallelamente la disponibilità ed il costo accessibile di tecnologie abilitanti come sensori, supporti wireless, cloud computing sta permettendo di accelerare il passaggio ad una fase successiva. La creazione del valore attraverso la trasformazione dei dati in informazioni sarà progressivamente resa possibile ad esempio dal miglioramento dei software di gestione del magazzino.

Si può pertanto suggerire come la creazione di questo archivio, parallelamente allo sviluppo di competenze e applicazioni in grado di elaborare questi dati, sia lo strumento che incoraggerà le aziende a intraprendere progetti importanti in ottica di automazione, permettendo il completo sviluppo della realtà 4.0.

## Bibliografia

- [1] Barreto. (2017). Industry 4.0 implications in logistics: an overview. *Elsevier*, 1247.
- [10] Brixia, (2010). *Brixia Business Solutions* <https://www.brixia.info/>.
- Alguliyev. (2018). Cyber-physical systems and their security issues. *Elsevier*, 2.
- Ali. (2017). Cloud-based business service innovation: a risk management model. *International of information management*, 640.
- Ande. (2017). Internet of things: evolution and technologies from a security perspective. *Elsevier*, 17.
- Belhadi. (2019). Understanding big data analytics from manufacturing processes: insights from literature review and multiple case studies. *Elsevier*, 1-3.
- Brixia. (2010). *Brixia Business Solutions* <https://www.brixia.info/>.
- Cozmiuc. (2018). Industrie 4.0 by Siemens: step made today. *Journal of cases of Information Technology*, 30-40.
- Enisa. (2017). Overview of cybersecurity and related terminology.
- Gatullo. (2015). Legibility in industrial AR. *IEE computer graphics and applications*.
- ITA. (2018). *Industrial Truck Association* <https://www.indtrk.org/>.
- Liagkou. (2019). Realizing virtual reality learning environment for industry 4.0. *Elsevier*.
- Lu. (2011). Understanding the link between information technology capability and organizational agility. *Mis Quartely*, 935.
- Lu, X. (2018). Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing service. *Elsevier*, 92-94.
- Madakan. (2019). The future digital work force: robotic process automation. *J. inform. Syst. technol. manage*, 16.
- Massod. (2019). AR in support of industry 4.0. *Elsevier*, 1-2.
- McKinsey. (2015). *How to navigate digitalization of the manufacturing sector*. McKinsey Digital.
- MLC, C. (2018). Gestione del magazzino, tecnologie e organizzazione. *Logistica Efficiente*.
- Monostari. (2003). AI and machine learning techniques for managing complexity, changes and uncertainties in manufacturing. *Pergamont*.
- Monte. (2003). *Elementi di impianti Industriali*. Torino: Cortina.
- Neumann. (1998). Cognitive, performance and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance. 4-11.

Raymer. (1992). Aircraft design: a conceptual approach. *American Institute of Aeronautics and Astronautics*.

Rufener. (2011). *Mehda* <https://www.mheda.org/>.

Savio. (2017). Optimization of lattice structures for additive manufacturing technologies. 213.

Turner. (2016). Discrete event simulation and virtual reality use in industry: new opportunities and future trends. 882.

Wamba. (2017). Big Data Analytics and firm performance: effects of dynamic capabilities. *Journal of business research*, 356-360.

Zheng. (2018). Smart manufacturing systems for industry 4.0: conceptual framework, scenarios and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 140-150.

## Sitografia

- [2] <https://medium.com/@IDMdatasecurity/types-of-cloud-services-b54e5b574f6>
- [3] <https://www.nec-solutioninnovators.co.jp/en/rd/vr.html>
- [4] <https://www.intelligrated.com/en/resources/blog/smart-glasses-dc-maintenance-operations>
- [5] <https://www.clarkmhc.com/Home/Index>
- [6] <https://indtrk.org/>
- [7] <https://www.cat.com/>
- [8] <https://www.still.it/>
- [9] <https://www.hyundai-mh.eu/en>
- [11] <https://toyota-forklifts.it/>
- [12] <https://www.mecalux.it/>
- <https://www.toyotaforklift.com/>
- <https://www.bigrentz.com/>
- <https://torcanlift.com/>
- <https://www.mcfa.com/en/mcfa>
- <https://www.logiwa.com/>
- <https://raymondhandling.com/>
- <https://www.still.it/>
- <http://forkliftlicenseguide.com/>
- <https://warehousenews.co.uk/>
- <https://www.tmhoh.com/>
- <https://www.adaptalift.com.au/>
- <http://www2.cerianiveicoli.it/index.html>
- <https://www.toyotamaterialhandling.com.au/>
- <https://www.nitco-lift.com/>
- <https://www.raymondcorp.com/>
- <http://www.bt-forklifts.com/En/Pages/index.aspx>

<http://www.cosmet.com/>  
<https://www.hyster.com/emea/it-it/>  
<https://www.linde-mh.it/it/>  
<https://www.logisticaefficiente.it/>  
<https://www.cranetech.com/>  
<https://www.shelving.com/>  
<https://www.lencrowforklifts.com.au/>  
<https://www.mheda.org/>  
<https://www.mechanicalpower.net/>  
<https://www.nmc-corp.com/hexbolt/home/>  
<https://www.hiremech.co.uk/>  
<https://www.catlifttruck.com/>  
<https://www.jungheinrich.co.za/>  
<http://cabmasters.com/>  
<https://www.interlakemecalux.com/>  
<https://6river.com/>  
<https://www.vacatures.nl/>  
<https://www.midohioforklift.com/>  
<http://www.melinacarrelli.it/index.asp>  
<http://www.mgacarrellielevatori.com/>  
<https://atib.it/>  
<https://blog.tuttocarrellielevatori.it/>  
<https://www.co-car.eu/>  
<https://www.mmh.com/>  
<https://www.persistencemarketresearch.com/>  
<https://www.fortunebusinessinsights.com/>  
<https://www.store.intellaliftparts.com/>  
<https://www.store.intellaliftparts.com/>

# Allegati

## Allegato 1

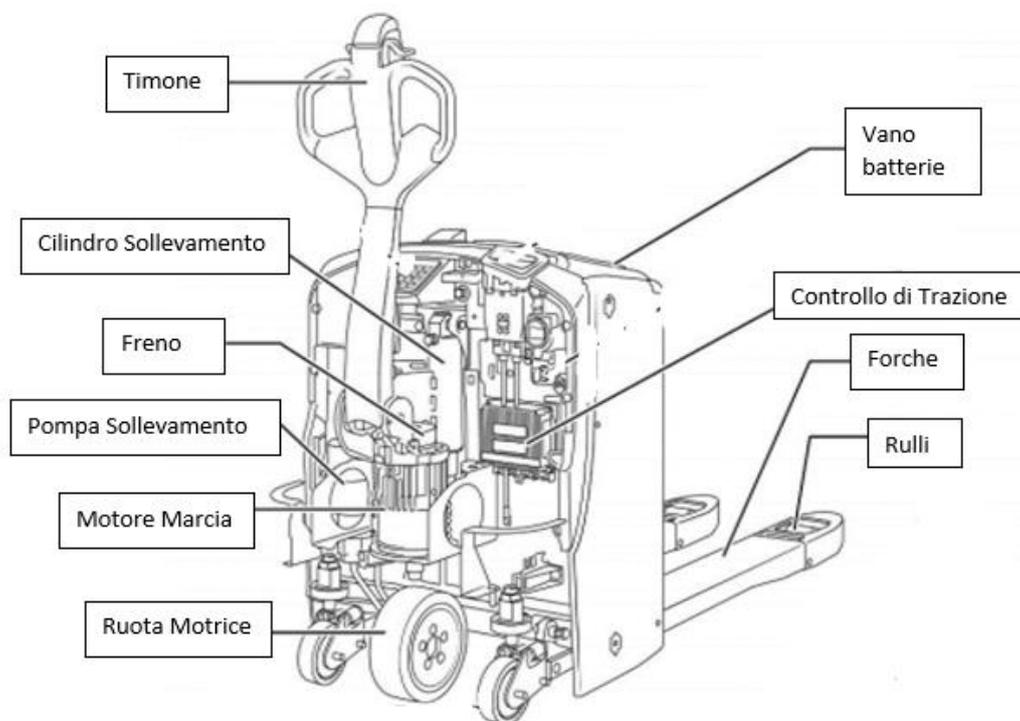


Figura 36- Componenti Transpallet

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio Max</b> mm
5-12	1600-2200	24	125-675
<b>Peso Netto</b> kg	<b>Lunghezza Tot</b> mm	<b>Larghezza Tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
300	1600	700	0,4

## Allegato 2

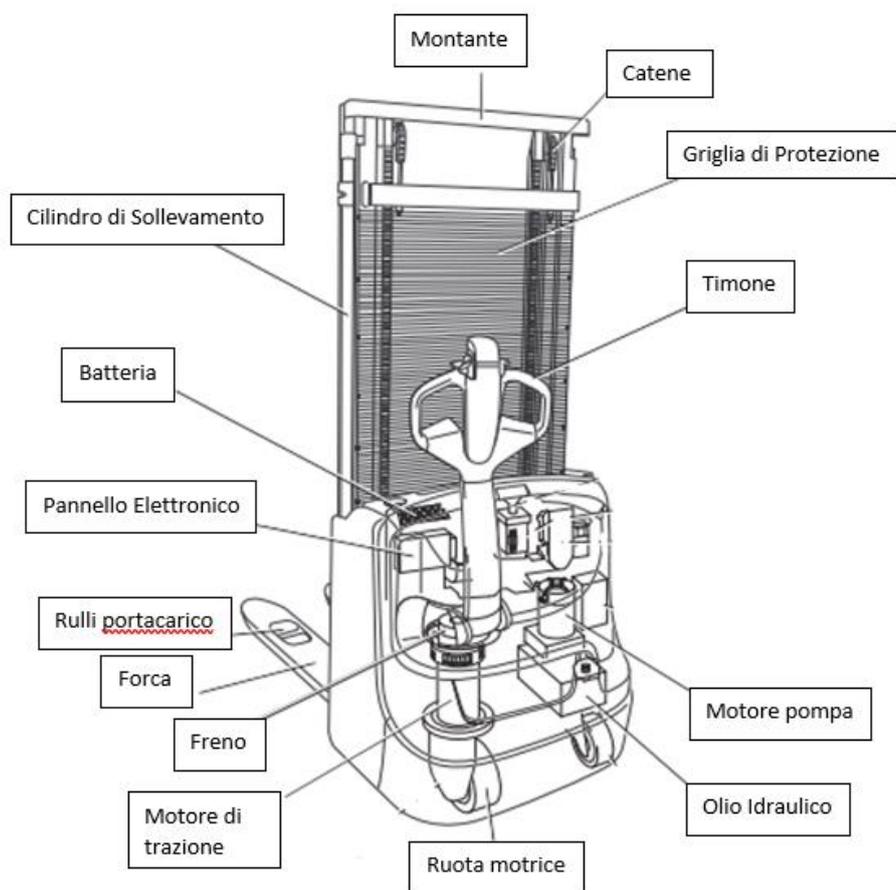


Figura 37- Componenti Stoccatore

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio max</b> mm
4,5 - 6	1000-2000	24	1867- 6066
<b>Peso</b> kg	<b>Lunghezza tot</b> mm	<b>Larghezza tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
610	1660	720	0,38

### Allegato 3

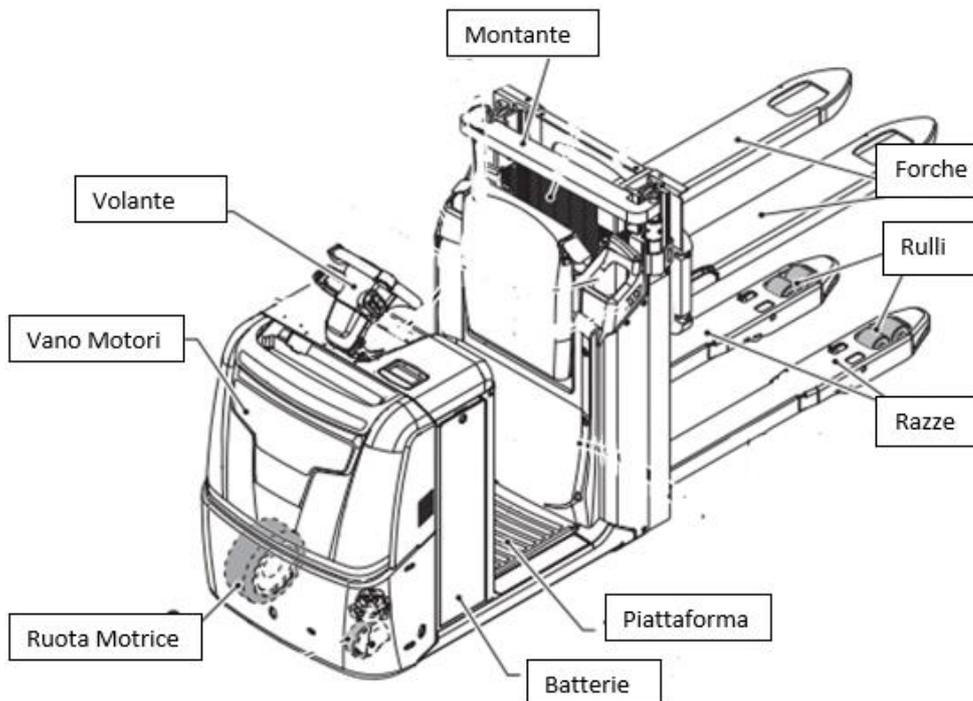


Figura 38- Componenti Commissionatore

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio max</b> mm
8-14	1200-2500	24 V	130 - 2800
<b>Peso</b> kg	<b>Lunghezza tot</b> mm	<b>Larghezza tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
1500	2800	800	1,1

## Allegato 4

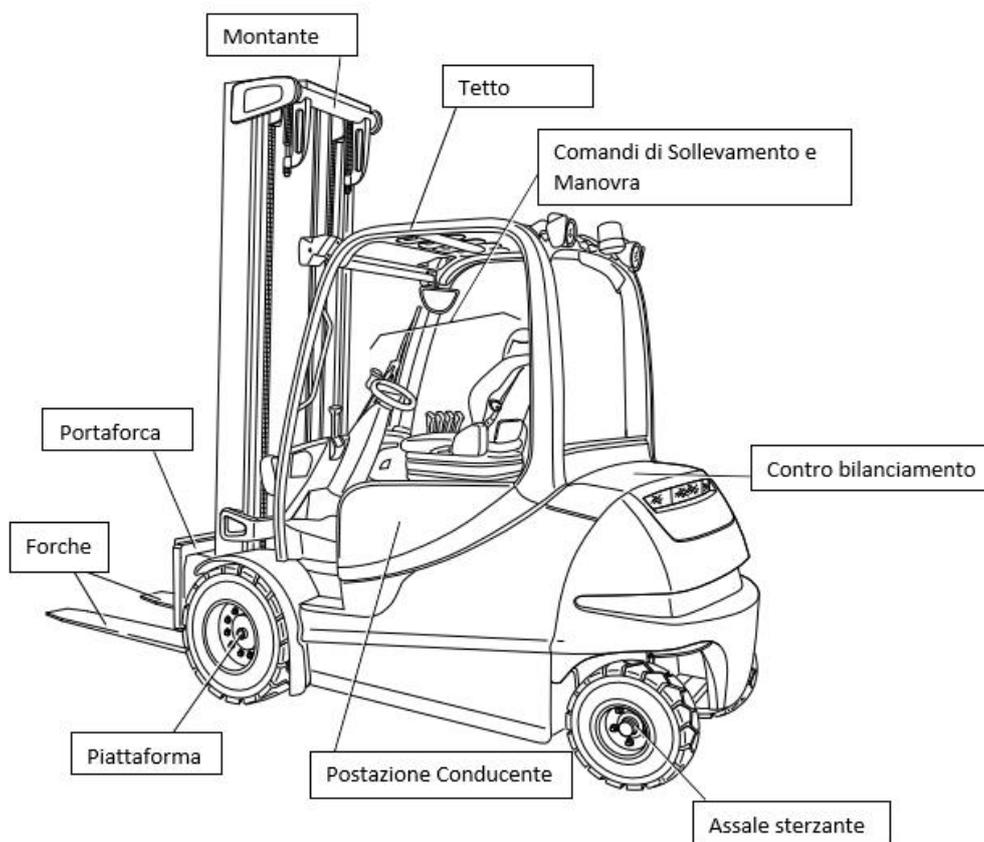


Figura 39- Componenti Carrello con Forche a Sbalzo

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio max</b> mm
17-21	2000 - 8000	48 - 80	6070 - 8670
<b>Peso</b> kg	<b>Lunghezza tot</b> mm	<b>Larghezza tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
7000	4000	1300	10

## Allegato 5

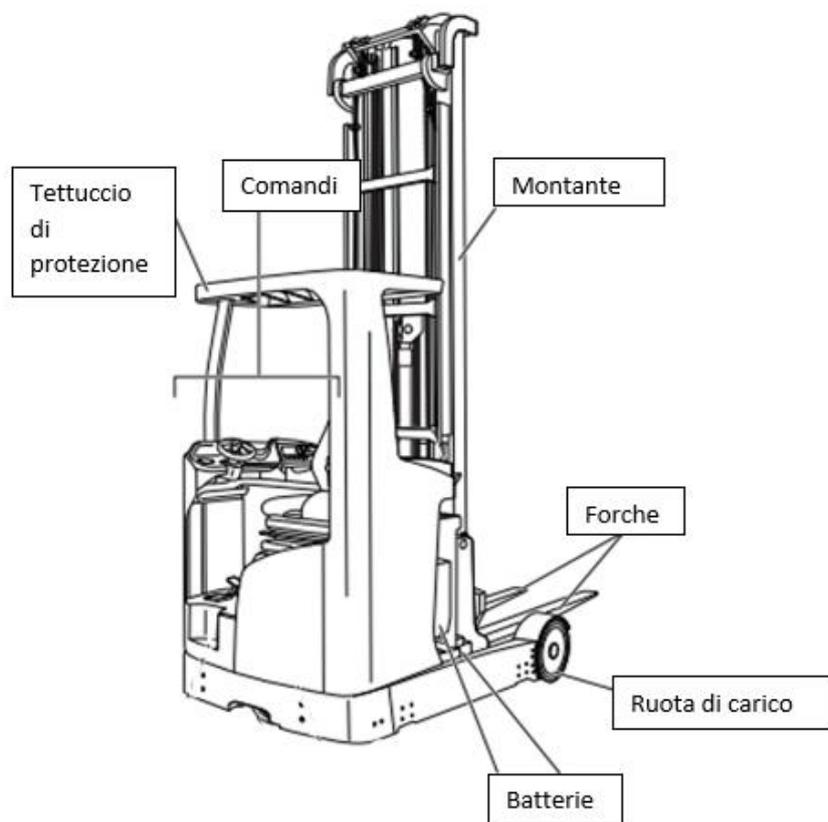


Figura 40- Componenti Retrattile

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio max</b> mm
14	2000 -2500	48 V	8000 -13000
<b>Peso</b> kg	<b>Lunghezza tot</b> mm	<b>Larghezza tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
3400	2400	1200	3

## Allegato 6

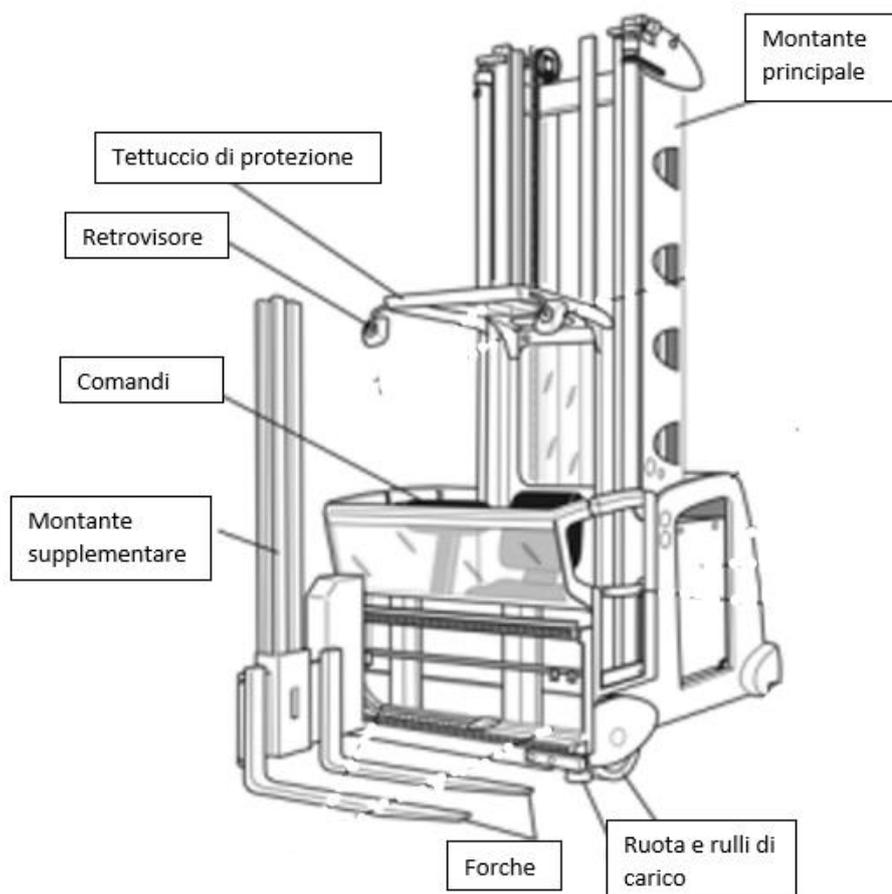


Figura 41- Componenti Carrello a grande altezza

### Dati Tecnici Indicativi Medi sulla Categoria

<b>Velocità Marcia</b> km/h	<b>Capacità Carico</b> kg	<b>Batteria</b> V	<b>Afferraggio max</b> mm
14	1300 -1500	48 - 80	7600 - 18100
<b>Peso</b> kg	<b>Lunghezza tot</b> mm	<b>Larghezza tot</b> mm	<b>Consumo Energia</b> kW/h
8500	4000	1300	3,6