

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi di sistemi Dynamic Wireless Charging per veicoli
elettrici industriali:
Applicazione al magazzino EDC Michelin**



**Politecnico
di Torino**

Relatore

prof. Giulia Bruno

Candidato

Correlatori

prof. Franco Lombardi

ing. Alberto Faveto

ing. Emiliano Traini

Salvatore Genualdi

Aprile 2021

Abstract

Negli ultimi anni, il paradigma della Industry 4.0, anche nota come quarta rivoluzione industriale, sta trasformando l'ecosistema aziendale, attraverso l'introduzione di nuove tecnologie, portando la produzione industriale ad essere sempre più automatizzata e interconnessa. In questo contesto, il lavoro di tesi mira a coniugare due aspetti fondamentali: l'innovazione tecnologica e la gestione della logistica interna industriale. In particolare, la promettente innovazione tecnologica in ambito logistico trattata nella tesi è la ricarica wireless dinamica WPT (Wireless Power Transmission) applicata a veicoli industriali.

Il lavoro svolto mira a valutare l'efficacia dell'utilizzo di tale tecnologia, i cui dettagli di sviluppo sono stati forniti dalla startup Enermove, presso l'impianto logistico dell'European Distribution Center Michelin Italia di Torino. In questo ambito, al fine di riprodurre il comportamento del sistema logistico, è stato implementato un modello di simulazione ad eventi discreti, attraverso l'utilizzo del software Flexsim. Lo scopo dell'elaborato è quello di valutare se la soluzione basata su WPT risulti vantaggiosa in termini economici e logistici, rispetto alle soluzioni concorrenti basate sulla ricarica conduttiva dei veicoli o della sostituzione del pacco batteria.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale alla mia famiglia per il loro supporto continuo.

Indice

LISTA DI FIGURE E TABELLE	5
INTRODUZIONE.....	6
CAPITOLO 1: L'IMPORTANZA DELLA LOGISTICA.....	8
1.1 LOGISTICA 4.0.....	10
1.2 INNOVAZIONI IoT-BIG DATA- SENSORISTICA	11
1.2.1 Oggetti intelligenti.....	11
1.2.2 Soluzioni software della gestione logistica.....	13
1.2.3 Supply Chain Visibility	13
1.3 SISTEMI DI AUTOMAZIONE DI MAGAZZINO.....	14
CAPITOLO 2: ANALISI ENERGETICA MAGAZZINO	16
2.1 REVIEW LETTERATURA	16
2.2. GREEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	22
CAPITOLO 3: ENERMOVE E TECNOLOGIA WPT	26
3.1 RUOLO DELLE STARTUP: ENERMOVE.....	26
3.2 CENNI STORICI WPT	27
3.3 PRINCIPIO FISICO	28
3.4 METODI DI RICARICA WIRELESS	29
3.5 APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA WPT.....	30
3.6 SISTEMA DI ENERMOVE.....	35
CAPITOLO 4: CASO STUDIO-EUROPEAN DISTRIBUTION CENTER MICHELIN	39
4.1 EDC MICHELIN.....	40
4.2 PARAMETRI DI INPUT MAGAZZINO.....	42
4.3 PARAMETRI DI INPUT VEICOLI ED OPERATORI.....	44
4.4 LOGICHE DI ENTRATA.....	46
4.5 LOGICHE DI STOCCAGGIO	48
4.6 LOGICHE DI USCITA	48
CONCLUSIONI.....	55
BIBLIOGRAFIA	57

Lista figure

Figura 1-Smart glasses	12
Figura 2-Sistemi RFID	12
Figura 3-AGV	15
Figura 4- Modello di valutazione delle emissioni relative al magazzino []	19
Figura 5- Emissioni di CO2 per le tre tipologie di magazzino.....	21
Figura 6- Emissioni GHG per ogni categoria di consumo energetico di un magazzino	22
Figura 7- Logo Enermove	27
Figura 8 - Sistema di ricarica wireless dispositivi elettronici	31
Figura 9- Applicazioni WPT e parametri di efficienza []	34
Figura 10- Sistema di ricarica wireless di Enermove.....	36
Figura 11- Esempio di bobina trasmittente	37
Figura 12- European Distribution Center Michelin (TO)	39
Figura 13- Parametri carrello elettrico retrattile Still FM-X utilizzato in Michelin.....	45
Figura 14- Logica di entrata	47
Figura 15- Processo di richiesta ordine	49
Figura 16- Processo di pianificazione consegne	52
Figura 17- Processo di preparazione picking	53
Figura 18- Processo di picking.....	54

Introduzione

Negli ultimi tempi la scena economica e industriale è stata dominata dalla discussione attorno al nuovo paradigma Industry 4.0.

L'Industry 4.0, chiamata anche quarta rivoluzione industriale, sta trasformando l'ecosistema aziendale, attraverso l'implementazione di nuove tecnologie, portando la produzione industriale ad essere automatizzata e interconnessa.

L'elaborato si pone come obiettivo quello di unire il mondo dell'innovazione con quello della logistica industriale.

Il tema dell'innovazione in ambito logistico verrà affrontato presentando un'attività di studio basata sull'applicazione della tecnologia di ricarica wireless dinamica WPT (Wireless Power Transmission), fornita dalla startup Enermove, sui veicoli industriali (carrelli elettrici) dell'impianto logistico dell'European Distribution Center Michelin Italia di Torino, luogo in cui ho svolto il mio tirocinio.

Uno degli obiettivi del mio tirocinio in merito a questo studio di tesi riguarda la raccolta e l'analisi dei dati necessari del magazzino, al fine di poter condurre uno studio di fattibilità tramite la realizzazione di un modello di simulazione e l'utilizzo dei relativi software commerciali.

Nello specifico l'elaborato è suddiviso nelle seguenti sezioni:

- *Capitolo 1*: cerca di dare una visione generale delle innovazioni dirompenti che stanno influenzando il modo di fare logistica e le tecnologie che permettono la forte automatizzazione dei magazzini.
- *Capitolo 2*: presenta una review della letteratura in merito all'impatto economico ed ambientale delle attività in magazzino, introducendo il concetto dei Green Supply Chain Management
- *Capitolo 3*: viene approfondito uno studio sulla tecnologia WPT e i suoi campi applicativi introducendo quindi il core business dell'azienda Enermove.

- *Capitolo 4*: si analizza l'European Distribution Center Michelin. Dopo un'introduzione al mondo Michelin, il capitolo presenta la metodologia, le logiche e i parametri di magazzino raccolti durante il tirocinio che possono condurre alla costruzione del modello di simulazione e allo sviluppo di scenari alternativi.
- *Capitolo 5*: si concluderà elencando i principali vantaggi e i principali limiti dell'applicazione del sistema di Enermove.

Capitolo 1: L'importanza della logistica

L'Associazione Italiana di Logistica definisce il processo logistico come “l'insieme di tutti quei processi di ordine organizzativo, gestionale e strategico, interni ad un'azienda, dalla fornitura, alla distribuzione finale dei prodotti”.

Il processo logistico, si sviluppa mediante due flussi:

- Un flusso fisico dei materiali (materie prime, semilavorati, componenti e prodotti finiti), che parte dal momento dell'evasione dell'ordine e si conclude con il ricevimento della merce
- Un flusso di informazioni che attraversa tutto l'intero processo

Contrariamente a quello che si pensa, la Logistica è molto più che la semplice movimentazione delle merci, ma risulta essere sempre più centrale all'interno della gestione d'impresa.

La globalizzazione, lo sviluppo di nuove tecnologie e di nuovi modelli di business hanno causato l'ampliamento geografico dei mercati di acquisto e di vendita.

In un contesto così complesso ed eterogeneo, per competere a livello globale, ogni azienda deve essere in grado di gestire alcuni fattori cruciali come:

- La personalizzazione delle richieste dei clienti
- Le maggiori aspettative che portano alla focalizzazione sulla qualità del prodotto e/o servizio offerto
- La disponibilità del prodotto, ovvero avere sempre scorte sufficienti in magazzino
- La tempestività della consegna al cliente
- L'affidabilità del servizio
- La conformità qualitativa e quantitativa dei prodotti in consegna
- La flessibilità del servizio

Secondo la Simco Consulting [2], società di consulenza logistica, i costi della logistica distributiva si dividono in costi di:

- Amministrazione
- Customer Service
- Costo di Stoccaggio

- Costo di Inventario Contabile
- Costo di Trasporto

Inoltre i costi logistici valgono indicativamente il 9-10% del fatturato.

L'obiettivo è quello di intervenire su determinati aspetti come la pianificazione distributiva, l'ottimizzazione delle scorte, la distribuzione dei trasporti e l'organizzazione, al fine di ottenere benefici sui costi globali.

Delle strategie competitive aziendali, il miglioramento del livello di efficienza della logistica permette non solo di conseguire vantaggi significativi in termini di costi, ma contribuisce anche alla customer satisfaction, e, quindi alla fidelizzazione della clientela.

Per tali motivi alla Logistica e al Supply Chain Management viene attribuito un ruolo centrale per il raggiungimento e mantenimento del vantaggio competitivo.

Le scelte strategiche aziendali in merito all'ambiente logistico devono considerare i seguenti aspetti:

- L'innovazione
- La customizzazione del servizio
- La leadership di costo

1.1 Logistica 4.0

La diffusione dei nuovi paradigmi tecnologici dell'Industry 4.0, quali la Realtà Aumentata, l'Internet of Things, i Big Data e il Cloud Computing, hanno modellato la filiera della logistica indirizzandola verso una forte digitalizzazione e modernizzazione.

Nasce così il concetto di Logistica 4.0, cioè l'applicazione al mondo della supply chain dei nuovi paradigmi tecnologici della quarta rivoluzione industriale.

Tecnologia, centralità del cliente e sostenibilità sono gli elementi principali su cui si basa la Logistica 4.0.

Il settore della logistica guarda con grande interesse alle soluzioni tecnologiche, infatti, secondo "The state of logistic report 2019" di Eft [3], oltre il 70% delle aziende sta incrementando gli investimenti in ICT intraprendendo un percorso di trasformazione digitale volto ad ottimizzare i processi interni, ridefinire l'assetto organizzativo e a differenziarsi dai competitor. L'applicazione di queste soluzioni tecnologiche permettono numerosi vantaggi quali:

- maggiore tempestività
- tracciabilità delle informazioni
- maggiore efficienza e qualità dei processi logistici
- maggior sicurezza negli ambienti di lavoro
- immagine aziendale
- conformità di normative

I vantaggi di tali soluzioni innovative vengono bilanciati tuttavia da una difficile valutazione dei benefici e dei tempi di ritorno degli investimenti, standard tecnologici ancora non consolidati e resistenza al cambiamento del personale.

Inoltre queste tecnologie si basano in larga misura su altre tecnologie (Internet in primis) e richiedono di fatto una connessione (e in alcuni casi un'alimentazione) sempre attiva e affidabile, con conseguenti problemi legati alla sicurezza informatica.

Le principali innovazioni tecnologiche e digitali del settore riguardano l'intera filiera della logistica dal processo di distribuzione alla gestione del magazzino.

Le tecnologie protagoniste della Logistica 4.0 sono diverse, tra cui soluzioni robotizzate, sistemi di automazione, sensori e dispositivi tipici dell'IoT, utilizzo dei Big Data.

1.2 Innovazioni IoT-Big Data- Sensoristica

Per quanto riguarda innovazioni di sensori e dispositivi tipici dell'IoT e dell'utilizzo dei Big Data, secondo delle ricerche condotte dall'Osservatorio Contract Logistics [1], le soluzioni innovative potenzialmente dirompenti e ritenute più interessanti da aziende committenti e dai fornitori di servizi logistici rientrano nelle categorie di:

- Oggetti intelligenti
- Soluzioni software della gestione logistica
- Supply Chain Visibility

1.2.1 Oggetti intelligenti

L'utilizzo di oggetti intelligenti in ambito logistico permette di ridurre la complessità di esecuzione delle attività del magazzino.

Smart glasses, sensoristica e RFID rappresentano le soluzioni più adoperate nel settore.

Gli Smart glasses sono degli occhiali la cui tecnologia si basa sulla realtà aumentata. Essi sono dotati di una minuscola telecamera wireless collegata ad una piattaforma digitale, che permette a chi li indossa di visualizzare attorno a sé uno schermo virtuale.

Le funzioni degli occhiali intelligenti sono molteplici tra cui quelle di immagazzinare informazioni guardando un oggetto, registrare un video, selezionare una parte dell'immagine, modificarla e inserire commenti.

Inoltre attraverso microfono e auricolari si possono condividere informazioni e comunicare tra i diversi operatori.

I maggiori benefici degli Smart Glasses riguardano l'aumento dell'efficienza e dell'efficacia, con la conseguente riduzione di errori, della fase di picking.

Le criticità riguardano principalmente la durata della batteria, la difficoltà di lettura del codice a barre e l'affaticamento visivo nel caso l'operatore guardi lo schermo per periodi di tempo prolungati.



Figura 1-Smart glasses

L'altro trend relativo all'utilizzo di oggetti intelligenti in ambito logistico riguarda l'installazione di sensori.

I sistemi di sensoristica installati all'interno dei magazzini vengono considerati come strumenti di supporto fondamentale nel monitorare i prodotti in magazzino.

Sistemi a radiofrequenza RFID, sensori di pesatura e misurazione degli ingombri, sensori per la gestione della circolazione e delle condizioni dei veicoli industriali, sono le soluzioni più diffuse nel mondo della logistica.

Il vantaggio dell'applicazione di tali sistemi è molteplice: dalla mappatura degli articoli ad una migliore gestione della flotta, fino ad arrivare all'incremento della sicurezza delle operazioni di prelievo e stoccaggio.

L'applicazione dei tag RFID a terra e/o a scaffale permette una resa più efficiente dei processi interni che governano un magazzino oltre che alla tempestività delle informazioni, fondamentale per ridurre al minimo gli errori.



Figura 2-Sistemi RFID

1.2.2 Soluzioni software della gestione logistica

La gestione informativa della pianificazione di processi e attività in ambito logistico va verso l'estensione del ruolo del WMS (Warehouse Management System) fino ad arrivare all'integrazione con il TMS (Transportation Management System), attraverso moduli innovativi quali il Workflow Scheduling e il Load Building.

La crescente complessità delle attività di magazzino, in termini di allocazione di risorse in modo dinamico nel tempo e schedulazione delle attività più volte in una giornata, ha portato la diffusione di soluzioni software di Workflow Scheduling da affiancare al sistema WMS per la gestione dei flussi.

Un esempio è sicuramente il Fleet Management: soluzione che mira all'efficienza delle prestazioni delle flotte di un magazzino, ottimizzandone la disponibilità e la movimentazione in termini di percorsi e giri continui.

Inoltre gli algoritmi di Big Data analytics e Machine Learning applicati alla pianificazione dinamica delle attività in magazzino hanno permesso di elaborare gran quantità di dati per prevedere parametri funzionali come l'ETA (l'Estimated Time of Arrival) che segnala automaticamente eventuali ritardi o imprevisti nella consegna.

I moduli di Load Building permettono l'integrazione tra il WMS e il TMS cioè il sistema software per la gestione dei trasporti.

Attraverso tali applicativi è possibile stimare l'ingombro volumetrico degli ordini attraverso l'introduzione di vincoli, come possono essere ad esempio il peso o la destinazione geografica. L'obiettivo è ottimizzare la saturazione dei mezzi.

Tali sistemi vengono utilizzati come dati di input per elaborare i viaggi, controllare i costi di trasporto e definire l'allestimento della composizione del carico in funzione dell'ordine emesso.

1.2.3 Supply Chain Visibility

Lo sviluppo di tecnologie digitali ha portato le aziende a focalizzarsi sulla visibilità e tracciabilità dell'intera supply chain.

Il tracking di mezzi e spedizioni risulta essere importante non solo per poter monitorare i processi di distribuzione, ma anche per offrire un servizio di alta qualità al cliente.

Piattaforme collaborative, Logistics APP e Dematerializzazione e digitalizzazione documentale rappresentano le soluzioni che garantiscono una maggiore visibilità della supply chain.

Le piattaforme collaborative garantiscono, a tutti gli operatori coinvolti, lo scambio informativo di ordini, fatture, DDT (Documento di Trasporto).

Le Logistics APP, applicazioni installate su semplici mobile device quali smartphone o tablet, permettono la relazione tra le piattaforme e i vettori indicando la localizzazione della merce in consegna, il tempo di spedizione e la gestione di eventuali contenziosi.

1.3 Sistemi di automazione di magazzino

L'introduzione di tecnologie e innovazioni nel settore logistico conduce anche al miglioramento della gestione dei magazzini.

L'automazione dei processi di movimentazione interna è forse l'effetto più evidente della rivoluzione Industry 4.0.

L'implementazione di tecnologie hardware a supporto (o in sostituzione) degli operatori per lo svolgimento delle attività di stoccaggio e picking risulta essere uno dei fattori determinati per aumentare la produttività aziendale.

In questa prospettiva vi è il passaggio dai magazzini tradizionali ai magazzini automatici.

Se in un magazzino tradizionale le attività di movimentazione interna viene gestita dagli operatori in base alle consegne da effettuare, nei magazzini automatici i flussi logistici sono gestiti in modo da spostare i prodotti verso gli operatori secondo il principio del goods-to-man, ovvero delle merci che vanno verso l'uomo.

Quando si parla di magazzino automatico, ci si riferisce al complesso di quegli impianti e strumenti tecnologici che sono destinati a rendere i processi di stoccaggio, picking, carico e scarico merci, completamente automatizzati.

Per i sistemi di movimentazione interna si parla molto di autonomous logistics, la cui area di influenza include i veicoli a guida autonoma, dai carrelli elevatori ai veicoli industriali ai droni. Sono sempre più diffusi poi i robot di nuova generazione in supporto agli operatori. Tale diffusione deriva dai continui studi scientifici sui robot che ne permettono flessibilità, produttività e facilità di programmazione.

Inoltre alcune tecnologie introdotte all'interno dei magazzini conferiscono una maggior sicurezza degli ambienti di lavoro: basti pensare alla sensoristica a bordo dei sistemi di guida autonomi che percepiscono ostacoli o zone soggette a particolari vincoli ed evitano incidenti.

Grazie all'integrazione di potenti strumenti informatici e meccanici, si può arrivare ad automatizzare funzioni quali:

- Controllo e registrazione delle merci in entrata
- Conservazione e stoccaggio
- Gestione del flusso degli ordini
- Preparazione e imballaggio delle spedizioni.

Tutto questo richiede, però, personale altamente specializzato e infrastrutture adeguate. Elementi che non sono a disposizione di tutte le realtà aziendali.



Figura 3-AGV

Capitolo 2: Analisi energetica magazzino

Negli ultimi anni, le aziende hanno investito tanto in sistemi di automazione di magazzino al fine di aumentare la produttività dell'intera supply chain.

L'introduzione di sistemi di automazione, integrati o indipendenti che siano, richiede un'analisi delle necessità e una attenta proiezione dei costi e dei benefici derivanti dai nuovi processi di gestione del magazzino.

In particolare, è importante effettuare analisi energetiche e condurre delle ricerche in merito all'impatto ambientale delle attività di gestione del magazzino.

In letteratura, l'impatto ambientale della gestione del magazzino ha ricevuto relativamente poca attenzione.

L'obiettivo di questo capitolo è quello di colmare questa lacuna introducendo una review dei principali studi in letteratura sul consumo di energia e sulle emissioni dei gas serra al fine di presentare un modello della letteratura che può essere utilizzato per valutare l'impatto della gestione dell'inventario e del magazzino sulle emissioni di GHG derivanti dai processi di movimentazione dei materiali e dalle operazioni di magazzino.

2.1 Review letteratura

Grazie ad una maggior consapevolezza dell'importanza della sostenibilità ambientale molte imprese si sono rese conto che l'uso sostenibile delle risorse può generare notevoli risparmi economici (Plambeck, 2012).

Si stima che nel 2020, le emissioni globali di gas serra (GHG), in particolare di anidride carbonica, hanno raggiunto un totale di circa 58 miliardi di tonnellate (UNEP, 2012; Olivier et al., 2013).

Di queste circa 2,8 miliardi di tonnellate delle emissioni complessive di GHG, pari a circa il 5,5% delle emissioni totali di GHG, siano causate dal settore della logistica e dei trasporti (WEF, 2009).

Le attività di trasporto e stoccaggio sono considerate i driver principali dell'inquinamento ambientali nelle catene di approvvigionamento, a causa di un continuo aumento dei consumi di energia.

Secondo studi del World Economic Forum, la maggior parte delle emissioni della supply chain proviene dal trasporto su strada, seguito da quello marittimo.

In questo contesto, gli edifici logistici, come i magazzini, rappresentano il 13% delle emissioni relative al settore della logistica.

La stima dell'impatto ambientale delle attività logistiche richiede un'analisi di trade-off in merito alle operazioni di produzione, trasporto, stoccaggio e movimentazione (cfr. Wu e Dunn, 1995; Dey et al., 2011). Ad esempio, una produzione a minore intensità di carbonio non provoca necessariamente una riduzione di emissione di CO₂, dal momento che si potrebbero avere attività di trasporto più lunghe.

Infatti, le considerazioni ambientale devono riguardare tutte le aree della supply chain, con la gestione dell'inventario e la gestione del magazzino che giocano un ruolo determinante.

Una gestione efficace dell'inventario garantisce una maggiore efficienza delle operazioni di prelievo degli ordini, garantendo una riduzione dei costi di inventario e un aumento del livello di servizio al cliente.

Una gestione efficace del magazzino migliora le capacità di stoccaggio e aumenta il livello di produttività.

Soltanto una visione integrata delle due aree conduce a risparmi sostanziali in termini di emissioni di gas serra. (Strack e Pochet, 2010).

La maggior parte delle emissioni totali di un magazzino provengono da tre fattori principali:

- Aspetti legati alla dimensione del magazzino quali riscaldamento, raffreddamento, condizionamento dell'aria e illuminazione
- Gestione delle scorte
- Attrezzature utilizzate per la movimentazione dei materiali

Inoltre, da alcune ricerche, si è riscontrato che le decisioni sui tempi di consegna, le quantità di riordino e le attrezzature di stoccaggio presentano un impatto significativo sui costi e sulle emissioni.

Studi della United Kingdom Warehouse Association e del DECC (Dipartimento dell'energia e del cambiamento climatico) riportano che la maggior parte dell'energia di un magazzino tradizionale viene utilizzata per l'illuminazione e per il riscaldamento.

Tuttavia, una ricerca di Dhooma e Baker (2012) mostra che nei magazzini automatizzati una buona parte dell'energia del magazzino, un 30%, viene utilizzato per alimentare le attrezzature di movimentazione dei magazzini.

In questo contesto alcuni ricercatori si sono concentrati sui consumi energetici dei sistemi di movimentazione delle attività in magazzino. Zajac (2011) propone uno studio riguardo il consumo di energia dei movimenti dei carrelli elevatori, tenendo conto di fattori come l'altezza di sollevamento e la distanza percorsa, mentre Meneghetti e Monti (2013) hanno esaminato gli algoritmi a bassa energia per i sistemi di stoccaggio e prelievo automatizzati.

In questi paper il consumo energetico del magazzino è stato calcolato in base all'energia per metro quadrato generata.

La letteratura sul tema della sostenibilità ambientale nelle politiche di controllo dell'inventario presuppone che le emissioni vengano convertite i costi monetari che possono essere inclusi nelle funzioni obiettivo dei modelli.

Bonney e Jaber (2011) hanno dimostrato che se nel modello di quantità dell'ordine economico (EOQ) si include il costo ambientale causato dalle emissioni, la dimensione del lotto sarà maggiore rispetto a quello classico del modello.

L'immagine seguente mostra un modello della letteratura [16] in grado di valutare l'impatto delle attività di magazzino sulle emissioni di GHG in base ad un approccio integrato tra gestione dell'inventario e processi di magazzino.

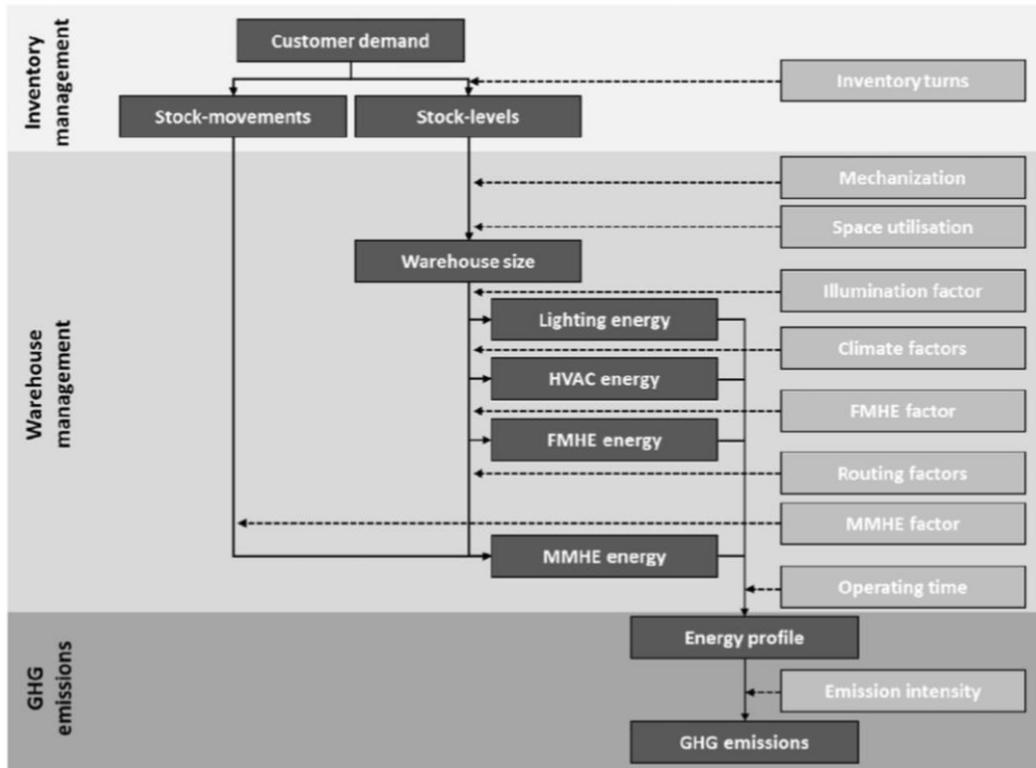


Figura 4- Modello di valutazione delle emissioni relative al magazzino [16]

Dalle caratteristiche della domanda del cliente, l'azienda decide di promuovere una politica di inventario determinando i tempi di rifornimento e la quantità di prodotti stoccati, in modo da fissare inventari di sicurezza.

Il livello di stock, combinato ai turni di magazzini e a operazioni di cross-docking, determinano i flussi di immagazzinamento del magazzino.

A partire da queste politiche si prendono decisioni in merito alle caratteristiche di layout di magazzino in termini di dimensionamento di spazi, illuminazione, riscaldamento e ventilazione e condizionamento (HVAC).

Queste caratteristiche del magazzino influiscono sui parametri energetici.

Per quanto riguarda il consumo di energia delle attrezzature in magazzino necessarie per i processi di stoccaggio e indirizzamento distinguiamo:

- Le attrezzature per la movimentazione dei materiali fissi (FMHE) che comprende ad esempio tappeti trasportatori e nastri, il cui consumo energetico è correlato alla lunghezza del sistema

- Le attrezzature mobili per la movimentazione dei materiali (MMHE) che comprende ad esempio carrelli elevatori o sistemi AS/RS, il cui consumo energetico dipende dai processi di movimento e dalle specifiche dei mezzi.

Nel modello, il valore aggregato del consumo energetico di un magazzino viene stimato considerando i consumi energetici relativi alle caratteristiche dell'edificio (cioè illuminazione, HVAC e FMHE) e i consumi energetici relativi alle operazioni di movimentazione (MMHE). In particolare, il consumo energetico relativo alla dimensione e alle caratteristiche del magazzino può essere calcolato come:

$$E_s = A (f_I + f_C + f_A)$$

Dove:

A : spazio del magazzino in $[m^2]$

f_I : consumo di energia di illuminazione $[Wh/m^2]$

f_C : consumo di energia di climatizzazione $[Wh/m^2]$

f_A : consumo di energia di automazione $[Wh/m^2]$

Mentre il consumo di energia dei processi di stoccaggio viene calcolato come:

$$E_p = (M \cdot \bar{X}) \sum_{i=1}^i \delta_i f_{M_i}$$

Dove:

M : numero di processi di stoccaggio e consegna al giorno [unità]

\bar{X} : distanza media dei processi di stoccaggio e recupero merci [m]

δ_i : frazione di movimento di apparecchiature [%]

f_{M_i} : consumo di energia delle attrezzature per la movimentazione dei materiali $[Wh/m]$

Dal valore aggregato di consumo energetico del magazzino si è in grado di stimare le emissioni totali di GHG prodotte in un determinato periodo temporale.

Il grafico mostra le emissioni in kg di CO2 al giorno per tre tipologie di magazzino.

Le tre tipologie di magazzino considerata sono:

- WA: magazzini tradizionali
- VNA: magazzini VNA (Very Narrow Aisle)
- AS/RS: magazzini dotati dei primi sistemi AS/RS (Automated Storage and Retrieval System);

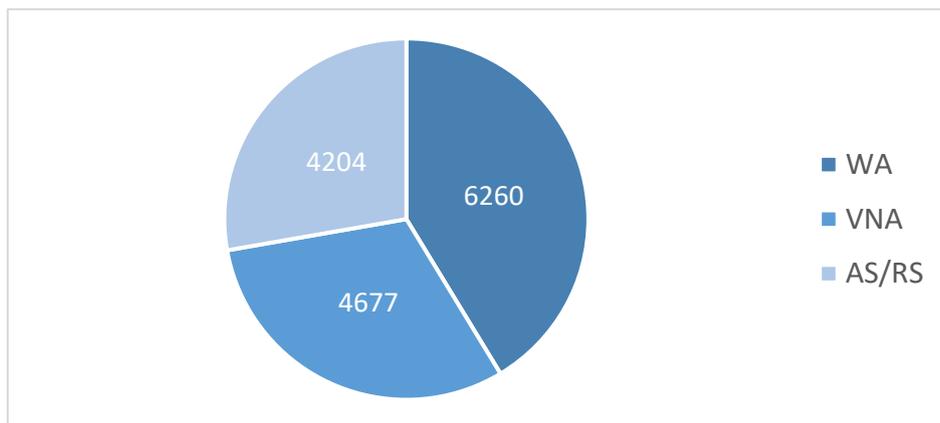


Figura 5- Emissioni di CO2 per le tre tipologie di magazzino

Lo studio dimostra come i magazzini AS / RS presentano un livello di emissioni di GHG più basse mentre i magazzini WA presentano i livelli di emissioni maggiori.

Il risultato di tale studio può essere spiegato effettuando un'analisi riguardo le emissioni nelle diverse categorie di consumi energetici dei magazzini HVAC, illuminazione, MMHE e FMHE.

Il grafico seguente mostra tali risultati:

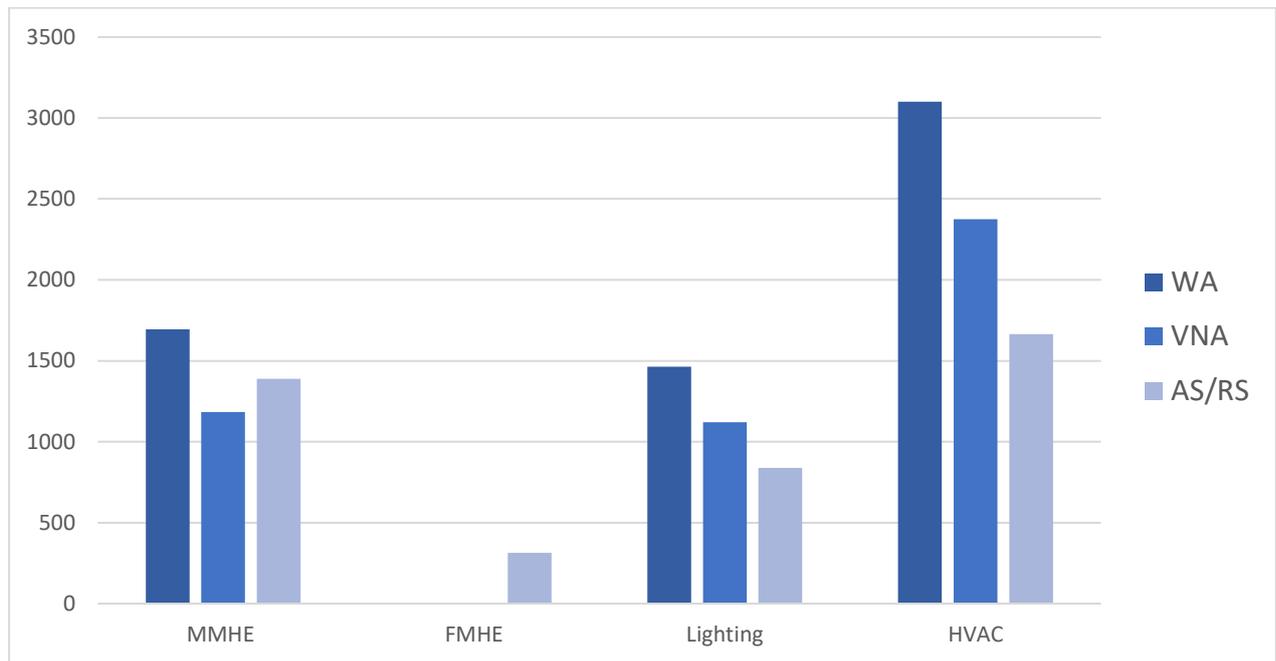


Figura 6- Emissioni GHG per ogni categoria di consumo energetico di un magazzino

I sistemi di HVAC e illuminazione dipendono dal dimensionamento dell'edificio in m², che è più piccola nei sistemi AS/RS.

2.2. Green Supply Chain Management

Negli ultimi anni, l'interesse del settore logistico riguardo il tema della sostenibilità ambientale insieme all'introduzione di nuove normative che regolano le emissioni, ha condotto molte aziende ad implementare una gestione aziendale di Green Supply Chain Management.

Con il termine Green Supply Chain ci si riferisce a un approccio gestionale che mira a minimizzare l'impatto ambientale di un servizio o prodotto lungo il suo intero ciclo di vita o Life Cycle, intervenendo sia sui processi interni di un'azienda, sia sulle dinamiche che si creano con gli attori che partecipano nella filiera.

La Green Supply Chain Management comprende un insieme di metodi, politiche, modelli e tecnologie che applicate all'intera catena di approvvigionamento consentono un miglioramento di prestazioni economiche e una riduzione dei consumi energetici.

Una delle sfide principali della Green Supply Chain Management riguarda l'ottimizzazione della last mile delivery con l'obiettivo di organizzare un'efficace sincronizzazione tra il magazzino e i trasporti eliminando le tratte a vuoto che producono costi ambientali e aziendali.

L'obiettivo è quello di concentrare in una sola spedizione più consegne possibili. Per migliorare questi aspetti è essenziale ricorrere ai moduli di gestione delle spedizioni e a software gestionali di magazzino.

Focalizzandosi sulla struttura di magazzino, tra gli elementi di transazione ecologica più frequentemente citati in letteratura e che trovano applicazione anche in contesti pratici si ritrovano:

- Porte con sensori che si chiudono automaticamente
- Sensori per l'illuminazione in modo che la luce sia accesa solo nel passaggio / zona dove necessario,
- Materiali isolanti

Naturalmente, non tutte le iniziative di Green Supply Chain si concentrano sulla riduzione del consumo di energia. Alcune di esse riguardano la creazione di energia da ciò che è già prontamente disponibile: sole e vento.

La transizione verso la Green Supply Chain riguarda anche l'ottimizzazione delle attività svolte in magazzino. Una componente fondamentale della Green Supply Chain è la cosiddetta logistica di ritorno, ovvero il flusso di materiali provenienti da soggetti "a valle" della produzione o della distribuzione (es. packaging, pezzi difettosi, ecc.) che ritornano al produttore il quale sarà chiamato a sviluppare procedure di riciclo, riutilizzo, recupero o corretto smaltimento.

In particolare si guarda con molta attenzione alla razionalizzazione dei flussi di merce nel tempo e nello spazio nelle operazioni di movimentazione.

Il processo di picking, definito come il processo di recupero degli articoli dalle posizioni di magazzino in risposta a una specifica richiesta del cliente, è l'attività più laboriosa e costosa in un magazzino.

Esiste una considerevole letteratura sui vari metodi di prelievo di un ordine nel modo più efficiente possibile.

La maggior parte dei metodi per migliorare l'efficienza operativa del prelievo degli ordini si concentra sulla riduzione dei tempi di viaggio e può essere classificata in base a tre politiche operative che riguardano: percorsi stabiliti, stoccaggio e batch.

I metodi di calcolo del percorso determinano le sequenze e i percorsi del viaggio, cercando di ridurre al minimo le distanze di viaggio totali. I metodi di stoccaggio, assegnando gli articoli alle posizioni di archiviazione in base a qualche regola, potrebbero anche ridurre le distanze di viaggio rispetto all'assegnazione casuale. Anche i metodi di batching degli ordini, cioè il raggruppamento di due o più ordini cliente in un ordine di prelievo, sono molto efficienti nel ridurre le distanze di viaggio totali.

Tuttavia, le prestazioni dipendono molto dalla disposizione e dalle dimensioni del magazzino, dalle dimensioni e dalle caratteristiche degli ordini e dalla produttività degli operatori.

In letteratura esistono diversi criteri euristici di instradamento che poi vengono applicati nella pratica.

L'euristica di instradamento più semplice è la politica a forma di S. Quando viene utilizzata questa politica, l'addetto al picking entra in ogni corsia in cui un articolo deve essere prelevato e attraversa l'intera corsia. I corridoi in cui non è necessario prelevare nulla vengono saltati. Viene fatta eccezione per l'ultima corsia visitata nel caso in cui il numero di corsie da visitare sia dispari.

Il criterio Midpoint, anch'esso semplice euristico, divide a metà il magazzino. Solo la prima e l'ultima navata visitata vengono percorse interamente.

Per la riduzione della distanza dei percorsi in magazzino e creare rotte efficienti l'utilizzo di algoritmi che combinano teoria dei grafi e programmazione trova sempre maggiore interesse nelle ricerche aziendali.

La panoramica dei metodi e delle tecnologie di prelievo degli ordini presenta le possibilità e le potenzialità di ridurre le rotte per gli operatori, garantendo processi di movimentazione "green" nei magazzini.

L'influenza delle distanze di percorrenza ridotte per il prelievo degli ordini nei magazzini dipende naturalmente dal tipo di carrello elevatore utilizzato e potrebbe essere espressa in energia risparmiata o emissioni di CO2 ridotte.

Ora ci sono molti nuovi carrelli elevatori disponibili sul mercato che potrebbero essere utilizzati per il miglioramento del magazzino in termini di sostenibilità. Ci sono molte nuove tecnologie per la flotta di carrelli elevatori a propano che consentono ai veicoli di bruciare in modo più pulito ed essere più efficienti nei consumi. I carrelli elevatori elettrici alimentati a corrente alternata sono più efficienti dal punto di vista energetico rispetto all'alimentazione in

corrente continua. Anche i carrelli elevatori ibridi elettrici e i carrelli elevatori alimentati da celle a combustibile a idrogeno sono ottimi esempi di utilizzo delle nuove tecnologie di carrelli elevatori disponibili sul mercato, risolvendo problemi ambientali e fornendo una migliore efficienza energetica e / o prestazioni operative

Capitolo 3: Enermove e tecnologia WPT

3.1 Ruolo delle startup: Enermove

Il grande interesse per il mondo logistico e lo sviluppo di nuove tecnologie in grado di automatizzare i processi rappresentano i fattori determinati per la nascita di startup che propongono nel mercato nuove soluzioni innovative nel contesto della Logistica 4.0.

Negli ultimi anni sono finanziate molte startup da fondi di venture capital o da aziende leader nel settore logistico con l'obiettivo di integrare nuove tecnologie all'interno della filiera logistica.

Secondo studi recenti le startup del mondo della logistica hanno ottenuto circa 5 miliardi di finanziamenti.

Nascono così i nuovi player del settore che propongono modelli di business con una visione smart della logistica.

Fleet Management, Advanced TMS, Data Analytics e Inventory & Order Management, Warehouse Robotics sono alcune delle soluzioni software e hardware proposte.

Tra l'ampio panorama di startup mondiali che operano nel settore logistico, spicca un'azienda italiana che grazie alle competenze dei suoi fondatori propone una soluzione potenzialmente dirompente.

La startup in questione si chiama Enermove.

Enermove nasce nel maggio 2019 dall'idea di un imprenditore operante nel settore delle batterie per carrelli elevatori e da professori e ricercatori del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino.

Il core business di Enermove riguarda la progettazione e lo sviluppo di sistemi di ricarica wireless per veicoli elettrici industriali, per lo più carrelli elevatori, AGV e robot mobili.

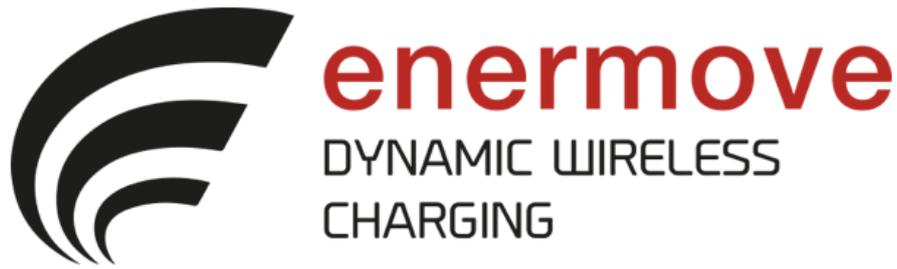


Figura 7- Logo Enermove

Il sistema di Enermove di Dynamic Wireless Charging è basato sulla tecnologia dell'accoppiamento magnetico risonante, spesso indicata come Wireless Power Transmission (WPT) o Inductive Power Transfer (IPT).

3.2 Cenni storici WPT

La tecnologia Wireless Power Transmission nasce nel diciannovesimo secolo teorizzata da Tesla.

Nikola Tesla basandosi sullo studio relativo alle onde elettromagnetiche, aveva ricercato un metodo di trasmissione di tipo wireless che quindi non fosse legato tramite conduttore.

L'obiettivo era quello di indirizzare la distribuzione dell'energia elettrica ad alta tensione destinata all'illuminazione stradale verso abitazioni maggiormente isolate rispetto a quelle delle città.

Nel 1900 Tesla brevettò un sistema per la trasmissione wireless di energia elettrica a lunga distanza mediante l'utilizzo di induttori, attraverso il quale poté definire due parametri fondamentali del trasferimento induttivo:

- aumento della frequenza, al fine di migliorare la capacità di trasferimento di potenza;
- impiego di condensatori connessi alle bobine, per creare un sistema risonante e accrescere l'efficacia della trasmissione.

Tuttavia a causa di impedimenti tecnici e finanziari gli studi rimasero incompiuti per diversi anni fino allo sviluppo dell'elettronica che ha permesso l'introduzione di tecnologie affidabili per il controllo del trasferimento di energia in modo efficace.

I due principi fondamentali che governano la tecnologia WPT sono la legge di Ampere del 1820 secondo cui una corrente può produrre un campo magnetico e il principio di induzione magnetica scoperto da Faraday nel 1831 che dimostra come attraverso l'interazione tra di un campo magnetico variabile nel tempo e un circuito elettrico si può indurre una forza elettromotrice senza che si abbia alcun contatto elettrico tra la sorgente del campo magnetico e il circuito stesso.

La prima reale applicazione della tecnologia "Inductive Power Transfer" (IPT) è stata sviluppata dall'ingegnere elettrico George Iljitch Babat, il quale nel 1943 costruì il primo prototipo di auto elettrica in grado di sfruttare questo tipo di sistema di ricarica. Il sistema generava una corrente di centinaia di ampere ad una frequenza pari a 50 kHz ed una corrente indotta in grado di alimentare un motore da 2 kW, con un'efficienza complessiva del 4%.

Per la realizzazione di un sistema completo IPT per un veicolo elettrico in movimento, si dovette attendere gli anni '80, con la creazione del progetto PATH (Partners for Advanced Transit and Highways) in California, relativo ad un bus elettrico di piccola taglia: il sistema era in grado di fornire una corrente massima di 2000 A alla frequenza di 400 Hz, con un air-gap (distanza suolo-veicolo) compreso tra 5 e 10 cm, generando una potenza di 200 kW. L'efficienza complessiva si aggirava intorno al 60% [8].

In Italia invece, a partire dal 2002, sono stati avviati due distinti progetti nelle città di Genova e Torino, inerentemente al trasporto pubblico, per la ricarica wireless statica di autobus elettrici: il rendimento medio, calcolato sulla base della quantità di energia trasferita dalla rete elettrica alla batteria del veicolo, è pari al 95%.

3.3 Principio fisico

Il trasferimento wireless di energia avviene mediante prelievo di energia elettrica dalla rete, la quale viene poi trasferita ad un carico elettrico senza che vi sia alcun contatto fisico tra sorgente e ricevitore, sfruttando l'aria come mezzo di propagazione. Per WPT si intende quell'insieme di sistemi in grado di trasferire energia elettrica senza fili, e si suddivide in diverse sottocategorie a seconda della tipologia di accoppiamento utilizzato: esso può essere infatti

magnetico (induttivo), elettrico (capacitivo) o elettromagnetico, detto anche “collegamento in campo lontano” (o far-field).

In particolare il trasferimento di potenza induttivo (IPT) e il trasferimento di potenza capacitivo (CPT) sono i due metodi più diffusi di trasferimento di potenza wireless (WPT). L'IPT è il più comune ed è applicabile a molti livelli di potenza e distanze spaziali mentre il CPT è applicabile solo per applicazioni di trasferimento di potenza con distanze intrinsecamente ridotte a causa di vincoli sulla tensione sviluppata.

Nello specifico, in questo lavoro di tesi, si intende focalizzare l'attenzione sulla particolare tecnologia IPT (Inductive Power Transfer), ovvero avente un accoppiamento di tipo induttivo che, nel caso di impiego per la ricarica di veicoli elettrici, è risonante per alte potenze.

La tecnologia si basa sul principio di induzione elettromagnetica secondo cui un campo magnetico variabile nel tempo, che interagisce con un circuito elettrico, è in grado di indurre una forza elettromotrice senza che si abbia alcun contatto elettrico tra la sorgente del campo magnetico e il circuito stesso.

Per determinare l'efficienza della tecnologia bisogna prendere in considerazione, in fase di progettazione, quattro criteri principali:

- potenza trasmessa;
- geometria delle spire;
- parametri di accoppiamento;
- frequenza.

3.4 Metodi di ricarica wireless

Le tipologie di ricarica sono: statica (*SWC*), dinamica (*DWC*) e quasi-dinamica (*QWC*).

La ricarica WPT statica rappresenta una valida alternativa alla normale ricarica elettrica; anche in questo caso, però, il veicolo necessita di essere parcheggiato durante tutta la fase di carica. I rendimenti calcolati in laboratorio per questo tipo di tecnologia sono sufficientemente alti, e si aggirano intorno al 90%

La ricarica WPT dinamica, al contrario di quella statica, permette al veicolo di ricaricarsi in movimento, eliminando così la necessità di arrestarsi anche per diverse ore nelle apposite aree

di ricarica; di conseguenza ciò porta ad una riduzione della capacità del pacco batterie, e quindi del suo volume e peso.

I sistemi di trasferimento di energia wireless per DWC sono abbastanza diversi da quelli per SWC nel layout dell'infrastruttura, nel design della bobina, nella fornitura di energia e nel principio di funzionamento.

Infatti, nell' SWC, un veicolo elettrico è posizionato correttamente sulla base di ricarica in modo che la potenza venga trasferita in condizioni di accoppiamento ed efficienza quasi ottimali e senza vincoli impegnativi per il controllo e la gestione dei sistemi; con il DWC più veicoli elettrici che percorrono la strada interagiscono con la power track per un breve periodo di tempo e in modo variabile ed, eventualmente, disallineato, e questo porta a un trasferimento di potenza né costante né ottimale, il che si traduce in requisiti più impegnativi per la progettazione e per il governo dei sistemi (alcuni limiti sono trattati al capitolo 4).

La ricarica DWC, infatti, dipende dalla velocità del movimento del veicolo, di conseguenza il flusso cambia in funzione del cambiamento di posizione della bobina secondaria. Quando la bobina e il pickup sono completamente allineati, il trasferimento di potenza è del 100% ma, quando il veicolo si muove, la bobina di raccolta si sposta verso un'altra bobina di binario, con efficienza in posizione intermedia ridotta al 50%.

Un terzo possibile utilizzo del sistema IPT è quello stazionario (QWC), e rappresenta una soluzione intermedia tra le due sopra descritte. I rendimenti risultano sufficientemente alti, come nel caso del sistema statico, ad eccezione di alcune perdite connesse al disallineamento tra ricevitore e trasmettitore che si manifestano durante la fermata del veicolo.

3.5 Applicazione della tecnologia WPT

Negli ultimi anni la tecnologia WPT si sta affermando in vari campi applicativi, in particolare per quanto riguarda la ricarica elettrica senza fili.

Il campo applicativo principale della tecnologia WPT riguarda la ricarica wireless di dispositivi elettronici quali smartphone, smartwatch.

La connessione ad un caricabatteria wireless risulta essere più veloce e più facile di quella con i cavi. Infatti basta posizionare il dispositivo elettronico sulla base di ricarica wireless per iniziare la ricarica.

Esistono due diversi tipi di ricarica wireless nel mondo dei dispositivi elettronici: la ricarica ad induzione e quella a risonanza.

La ricarica ad induzione è sicuramente quella più diffusa nel mercato. Essa si basa sul principio fisico dell'induzione elettromagnetica.

Il suo funzionamento prevede i seguenti step:

- La bobina posta nella base di ricarica trasmette un segnale
- Il segnale ricerca una bobina di ricezione, come quella di uno smartphone compatibile.
- Trovato l'accoppiamento, l'induzione elettromagnetica si avvia
- Gli elettroni (elettricità) all'interno della bobina di trasmissione iniziano a muoversi all'interno della bobina.
- Ciò genera un campo magnetico, che viene rilevato dagli elettroni nella bobina di ricezione.
- Gli elettroni intrappolati all'interno della bobina di ricezione iniziano a muoversi a causa del campo magnetico.
- Questo flusso di elettroni nella bobina di ricezione è praticamente l'elettricità che alimenta la batteria nel tuo smartphone.

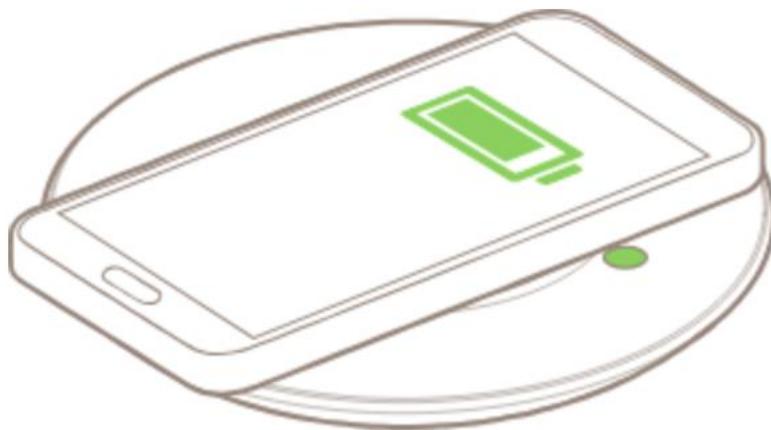


Figura 8 - Sistema di ricarica wireless dispositivi elettronici

Negli ultimi anni la ricarica wireless si sta diffondendo anche in ambito automotive, soprattutto nel sistema di ricarica dei veicoli elettrici.

L'aumento della sensibilità della popolazione nei confronti della sostenibilità ambientale ha permesso una rapida evoluzione dei sistemi di propulsione dei veicoli: dal classico motore a combustione, fino ai veicoli completamente elettrici.

Nonostante ciò, fattori economici, tecnologici e sociali ostacolano la diffusione del paradigma tecnologico della mobilità elettrica.

Uno degli svantaggi principali dei veicoli elettrici riguarda il tempo di ricarica. La tecnologia esistente di ricarica impiega molto tempo per caricare completamente una batteria del veicolo elettrico scarica.

Per tale motivo negli ultimi anni l'idea di utilizzare la tecnologia WPT per la ricarica di veicoli elettrici sta riscontrando molto successo.

Negli ultimi anni diverse aziende e centri di ricerca hanno cominciato a sviluppare sistemi e prototipi per migliorare la mobilità elettrica attraverso la tecnologia WPT.

Il sistema di funzionamento della Wireless Power Transmission per la ricarica wireless di veicoli elettrici si basa sull'accoppiamento magnetico tra la bobina trasmittente fissata al livello del suolo e la bobina del ricevitore montata sotto il veicolo. La bobina trasmittente viene alimentata tramite un convertitore elettronico di potenza che fornisce una corrente variabile nel tempo nel campo di frequenza da 20 a 100 kHz. Tale corrente alternata genera un campo magnetico che viene gestito tramite altri stadi elettronici di potenza, consentendo la ricarica wireless della batteria del veicolo.

Insieme ad ogni bobina viene installata una struttura magnetica, dei condensatori formati da piastre di ferrite e alluminio, che aiuta ad aumentare l'accoppiamento energetico e a ridurre le dimensioni e il costo dell'elettronica di potenza.

Le potenzialità di questo tipo di tecnologia applicata alla ricarica dei veicoli elettrici ha suscitato grande interesse nei centri di ricerca, università e aziende.

Le prime aziende che hanno reso possibile lo sviluppo e la crescita della tecnologia WPT nel campo dei veicoli elettrici, sono Bombardier, Qualcomm e Conductix-Wampfler. Tra gli enti e le università maggiormente impegnate in questo settore troviamo il KAIST (Korea Advanced Institute of Science and Technology), che già nel 2009 ha sviluppato un progetto chiamato OLEV, con l'obiettivo di sviluppare tecnologie di ricarica wireless per autobus elettrici. Anche l'Oak Ridge National Laboratory (ORNL) negli Stati Uniti d'America ha effettuato uno studio di fattibilità tecnologica riguardante la ricarica senza fili statica e dinamica. Conductix-Wampfler ha per prima sviluppato e commercializzato su vasta scala il sistema WPT per il trasferimento induttivo di potenza senza contatto. Bombardier ha realizzato diverse soluzioni per la mobilità elettrica mediante WPT, allo scopo di offrire soluzioni commerciali per differenti tipologie di mezzi di trasporto; il progetto PRIMOVE infatti riguarda non solo autobus e tram, ma anche veicoli commerciali leggeri, camion ed autovetture private. Qualcomm, a seguito dell'acquisizione dell'azienda HaloIPT nel 2011, in

collaborazione con Renault ha realizzato la tecnologia per la ricarica wireless ad alta efficienza Halo WEVC (Wireless Electric Vehicle Charging) [10].

Nel gennaio 2014 l'Unione Europea ha finanziato un progetto di collaborazione tra, 25 diverse organizzazioni provenienti da 9 paesi europei, chiamato FABRIC (Feasibility analysis and development of on-road charging solutions for future electric vehicles), che ha avuto come principale obiettivo quello di analizzare dettagliatamente la fattibilità della ricarica wireless dinamica per veicoli elettrici. Esso si è focalizzato sulla fattibilità tecnologica ed economica, oltre che sulla sostenibilità socio-ambientale della tecnologia in questione. A partire da settembre 2012 fino a maggio 2015 è stato realizzato il progetto eCo-FEV, acronimo di "efficient Cooperative infrastructure for Fully Electric Vehicles", il quale ha avuto come scopo primario la creazione di una piattaforma per la mobilità elettrica cooperativa. Tale piattaforma avrebbe permesso di favorire la diffusione dei veicoli elettrici grazie alla comunicazione in tempo reale tra le differenti infrastrutture, quali strade, parcheggi e soste, trasporto pubblico, veicoli e sistemi di ricarica. La condivisione e il collegamento tra esse avrebbero permesso di rendere più semplice e completa la guida di un veicolo elettrico, assistendo l'utente attraverso servizi di gestione ottimale del sistema di ricarica, di fatto aumentando l'autonomia delle autovetture stesse.

Un altro progetto europeo chiamato UNPLUGGED, realizzato da 17 partner tra i cui le principali aziende del settore energetico (Enel, Endesa), automobilistico (Volvo, Continental) e dei trasporti (Transport for London), oltre a diverse società e centri di ricerca, è nato con l'obiettivo di realizzare un'infrastruttura veloce e flessibile, in grado di ricaricare le batterie di veicoli elettrici mediante un sistema IPT statico ad alta potenza: nello specifico è stato progettato e costruito un sistema di ricarica wireless rapida fino a 50 kW, che ha consentito di completare l'80% della carica in meno di 30 minuti. UNPLUGGED inoltre ha indagato nel dettaglio riguardo l'effettivo impatto socio-economico, la fattibilità tecnologica, l'accettazione da parte del cliente, l'interoperabilità e la sicurezza di differenti soluzioni per la ricarica di veicoli elettrici [18].

Technology provider	Application	Power (kW)	Frequency (kHz)	Air-gap (mm)	Maximum efficiency (%)
IPT technology	Buses (static)	60	20	40	90 ^a
WAVE	Buses (static)	25-50	20	150-250	90 ^b
Bombardier (PRIMOVE)	Buses (static and dynamic)	200	N/A	N/A	N/A
KAIST (OLEV 3G)	Buses (dynamic)	200	20	100-200	74 ^b
Halo IPT	Cars (static and dynamic)	3.3-6.6-22	85	125-175	95 ^d
WiTricity	Cars (static)	3.6-7.7-11	N/A	100-150	94 ^a
CIRCE/Endesa (UNPLUGGED)	Buses (static)	50	25	250	N/A
ORNL	Cars (dynamic)	2.2	23	100	75 ^c
Politecnico di Torino (POLITO CWD)	Light commercial vehicles and cars (dynamic)	20	85	100-250	91 ^c

Figura 9- Applicazioni WPT e parametri di efficienza [18]

L'applicazione della tecnologia WPT nei veicoli elettrici industriali risulta essere un argomento poco sviluppato.

Enernove si pone come obiettivo quello di allargare il perimetro di applicazione di tale tecnologia anche ai sistemi di movimentazione di magazzino.

3.6 Sistema di Enermove

Enermove nasce nel maggio 2019 dall'idea di un imprenditore operante nel settore delle batterie per carrelli elevatori e da professori e ricercatori del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino.

Il core business di Enermove riguarda la progettazione e lo sviluppo di sistemi di ricarica wireless per veicoli elettrici industriali, per lo più carrelli elevatori, AGV e robot mobili.

Alla base c'è la volontà di risolvere i problemi che nascono durante la ricarica delle batterie.

Per massimizzare l'autonomia dei veicoli industriali e quindi dare la possibilità al veicolo di lavorare su più turni le aziende provvedono al continuo ricambio del pacco batteria esausto oppure si affidano alla tecnologia di ricarica FAST. Entrambe queste soluzioni creano sprechi di tempo con un conseguente aumento dei costi e di dispendio energetico. Inoltre queste operazioni sono molto delicate perché possono nascere problemi di sicurezza del lavoro ed elettrici.

La soluzione al problema è arrivata dalle ricerche condotte dal Professor Paolo Guglielmi e dal ricercatore Vincenzo Cirimele del dipartimento Energia del Politecnico di Torino sulla ricarica wireless dinamica il cui funzionamento verrà ripreso nei prossimi capitoli.

Il sistema ENERMOVE è basato sull'accoppiamento magnetico di due bobine: *transmitter* a terra, e *receiver* a bordo macchina. A queste vengono collegati dei condensatori che, rendendo il sistema di tipo risonante, permettono di massimizzare la potenza trasferita riducendo le dimensioni dell'elettronica di potenza e aumentando al contempo l'efficienza del sistema.

La tecnologia ENERMOVE sfrutta questi principi fisici per realizzare una corsia di ricarica costituita da bobine trasmettenti disposte al di sotto della pavimentazione e da bobine riceventi installate al pacco batterie, il quale flusso induttivo, permette la ricarica e garantisce l'alimentazione continua del veicolo in totale sicurezza sia per gli operatori al bordo del veicolo sia per gli oggetti del magazzino disposti nelle vicinanze dell'impianto.



Figura 10- Sistema di ricarica wireless di Enermove

Le dimensioni e i materiali della bobina trasmittente dipendono dal tipo di pavimentazione dell'edificio logistico. La bobina ricevente si presenta invece di superficie quadrata con dimensione pari a 35 mm. Il sistema permette disallineamenti tra ricevitore e trasmettitore fino al 20%. Nonostante la possibilità di avere disallineamenti, sarà comunque necessario far sì che l'operatore segua il più possibile le piste di ricarica. Questo potrà essere garantito mediante segnaletica ed eventualmente con l'ausilio di sensori di posizione, a valle di analisi statistiche delle aree dello stabilimento maggiormente percorse dai carrelli elevatori.

L'installazione delle bobine nella pavimentazione industriale non richiede onerose operazioni in quanto, mediante raschiatori per calcestruzzo, viene raschiata solo la superficie superiore del pavimento (5 cm circa) creando una traccia per alloggiare la bobina. La bobina, opportunamente resinata, viene ricoperta dal calcestruzzo e, secondo una filosofia simile agli impianti di riscaldamento a pavimento, non sono richieste ulteriori opere di manutenzione.

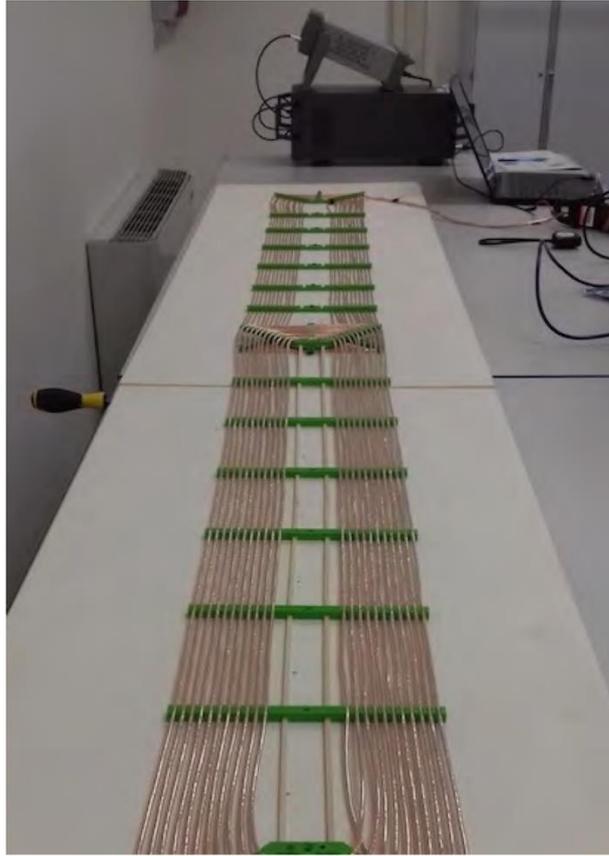


Figura 11- Esempio di bobina trasmittente

Avendo la necessità di lavorare a elevate frequenze, risulta necessario adottare per le bobine la tecnologia dei cavi litz, i quali permettono di ridurre notevolmente le perdite causate dall'effetto pelle e dall'effetto di prossimità. Questa tipologia di cavi si presenta come una molteplicità di trefoli di fili sottili, isolati singolarmente e attorcigliati. Al fine di aumentare il flusso magnetico concatenato con la bobina ricevente, è stato utilizzato un piatto di ferrite; la schermatura, necessaria non solo per la sicurezza delle persone ma anche per evitare problemi di compatibilità elettromagnetica dell'elettronica a bordo del carrello elevatore, è garantita dal telaio stesso del carrello e da una lastra di alluminio disposta tra il pianale del carrello e la bobina ricevente.

Come già accennato, le batterie, e in particolare quelle al piombo, non tollerano le discontinuità di alimentazione. Queste discontinuità possono presentarsi non solo nella direzione trasversale della bobina (eccessivo disallineamento) ma anche nel senso di marcia del carrello, quindi nella zona di attraversamento tra due bobine adiacenti. La soluzione a questo problema è stata affrontata mediante la tecnica chiamata *Overlap*, la quale consiste in una sovrapposizione parziale delle due bobine.

In questo modo si ottiene il disaccoppiamento magnetico tra due bobine adiacenti, con una semplificazione sul sistema di controllo dell'alimentazione, nonché la possibilità di alimentare unicamente la bobina trasmittente su cui è posizionato il carrello e alimentare quella adiacente solo quando il carrello inizia a “vedere” magneticamente la seconda bobina.

Grazie al sistema progettato da Enermove il veicolo è in grado di lavorare in modo continuo senza dover interrompere la sua circolazione per essere ricaricato o per sostituire la batteria.

Enermove si impegna ad adattare il sistema di installazione della soluzione di ricarica wireless alla forma del magazzino, individuando le aree dello stabilimento maggiormente trafficate e adottare la soluzione più efficiente in base anche alla tipologia di pavimentazione, senza modificare la potenza dell'impianto elettrico della struttura.

Capitolo 4: Caso studio-European Distribution Center Michelin

Il Gruppo Michelin, leader nella produzione e vendita di pneumatici, è presente in Italia con una sede legale, una direzione commerciale e tre stabilimenti di produzione.

Negli ultimi anni Michelin Italia si è impegnata a contribuire al progresso della mobilità attraverso pilastri aziendali quali processi di innovazione, notevoli prestazioni di prodotti e servizi e sostenibilità ambientale.

In particolare si analizzerà il nuovo European Distribution Center (EDC) di Torino Stura dove ho effettuato il mio stage.



Figura 12- European Distribution Center Michelin (TO)

Il valore riportato dall'introduzione di nuove soluzioni tecnologiche nel settore logistico ha portato ad una maggiore necessità di analizzare la fattibilità di tali soluzioni nei sistemi aziendali.

Sempre più comune è la creazione di modelli di simulazione che ripropongono il comportamento dei processi aziendali.

In tale contesto, la riproduzione dei processi tipici della logistica, in particolare quella dei magazzini, risulta essere uno degli strumenti di supporto manageriale più utile, non solo nel

monitorare le prestazioni dei processi attuali, ma anche per poter valutare l'integrazione di nuove soluzioni.

Per condurre uno studio di fattibilità dell'applicazione del sistema di Dynamic Wireless Charging di Enermove al magazzino Michelin, la realizzazione di una simulazione mediante l'utilizzo di un software potrebbe essere in grado di determinare i principali vantaggi e criticità dell'integrazione di questa nuova soluzione tecnologica.

La realizzazione di un modello di simulazione prevede l'analisi dei processi AS-IS del magazzino. Durante lo stage, una parte delle mie attività è stata quella di raccogliere i dati di input necessari che possono essere utilizzati per costruire il modello e valutare la fattibilità di una collaborazione tra Enermove e Michelin.

In particolare, sono state ricostruite le logiche che governano i processi di magazzino e raccolti i parametri di operatori e veicoli che verranno presentati nei prossimi paragrafi.

4.1 EDC Michelin

L'EDC di Torino, inaugurato nell'ottobre del 2020, è il nuovo hub di distribuzione logistico, dedicato al mondo degli pneumatici, che garantisce la distribuzione dei prodotti sul territorio italiano in tempi e modi efficienti al fine di soddisfare la domanda dei clienti.

L'EDC di Torino si presenta in questo modo:

- Un'ampia area esterna dedicata al flusso di camion che transitano da e verso il magazzino
- Uffici Michelin
- Uffici cooperativa esterna che supporta Michelin nell'uscita dei prodotti
- Magazzino logistico

Tutta l'offerta che Michelin è in grado di mettere sul mercato italiano transita all'interno del magazzino logistico di Torino che viene servito sia dagli altri stabilimenti italiani, che dagli stabilimenti esteri del gruppo a seconda del tipo di produzione che viene realizzata.

Il magazzino si estende su un'area di 60.000 mq, pari circa a 8 campi di calcio messi insieme e ha un'altezza di circa 12 metri.

Il magazzino è in grado di sostenere una capacità di stoccaggio pari a 430.000 pneumatici di ogni tipo. Ogni gamma di pneumatico viene identificata attraverso un codice chiamato CAI (Codice Articolo Internazionale) che ne descrive la famiglia di appartenenza. In totale, nel magazzino ci sono oltre 2.000 articoli con CAI (Codice Articolo Internazionale) diverso.

La capacità di movimentazione del magazzino è di circa 150.000 tonnellata/anno, vale a dire quasi 16 milioni di pneumatici vettura e 12.500 camion che transitano in tutta Italia.

L'EDC di Torino segue la strategia di Michelin verso la sostenibilità ambientale. Il magazzino, infatti, ha portato ad un miglioramento in termini di sostenibilità ed impatto ambientale, grazie all'intervento effettuato in 3 ambiti principali: costruzione, location e funzionalità.

Basti pensare che il capitolato di costruzione è stato definito affinché i consumi energetici della nuova struttura siano abbattuti almeno del 40% rispetto alla precedente.

Inoltre, l'EDC di Torino consente agli operatori di lavorare in modo sicuro ed ergonomico. Nel magazzino lavorano più di 160 persone.

Layout innovativo, nuove funzionalità del sistema, miglioramento dei controlli qualitativi e quantitativi dei processi, hanno permesso il miglioramento delle performance di tutte le attività distribuzione verso il cliente finale.

Stimando in modo accurato previsioni di domanda e tempistiche, Michelin serve il territorio nazionale entro 24 ore, tranne le isole il cui tempo di consegna è previsto entro 48 ore.

Per Michelin è fondamentale rispondere in modo reattivo alla domanda del cliente sia per questioni di fidelizzazione che per abbattere i costi di stoccaggio che hanno un notevole impatto sui conti aziendali.

Le attività svolte dall'EDC possono essere raggruppate sostanzialmente in due funzioni principali: lo scarico e lo stoccaggio di articoli provenienti da più magazzini Michelin e il carico di articoli destinati ai clienti. A queste funzioni primarie, l'EDC gestisce i resi, lo stoccaggio delle pedane in ferro e lo stoccaggio degli accessori per pneumatici.

Durante il mio periodo di stage in Michelin, grazie al supporto dei miei ex-colleghi che mi hanno descritto accuratamente i processi e le dinamiche di magazzino, sono stato in grado di raccogliere tutte le informazioni necessarie per la costruzione di un modello di simulazione.

Per poter effettuare una simulazione sono stati ricavati alcuni parametri del magazzino rispetto allo scenario tradizionale.

Sono stati raccolti parametri di magazzino: planimetria, capacità, numero di SKU gestite, tasso di inter-arrivo ordini, dimensione media degli ordini, logiche di entrata, uscita e stoccaggio; e parametri relativi a veicoli ed operatori: caratteristiche dei carrelli, turni di lavoro e pause.

Le attività dell'EDC possono essere raggruppate in due funzioni principali: lo scarico e lo stoccaggio di articoli provenienti dagli altri magazzini Michelin e il carico di articoli destinati ai clienti.

Il funzionamento di questi processi dipende molto dal modus operandi delle persone dell'EDC. La gestione digitale delle attività di magazzino viene affidata ai planneur, che si occupano dei processi di ordinazione e di consegna, e ai piloti che si occupano della gestione dello stock in magazzino.

La gestione pratica delle attività viene invece affidata ai magazzinieri e al loro responsabile operativo, chiamato RO.

Data la grande variabilità del magazzino, in termini di unità stoccate e ordini ricevuti, sono state introdotte delle ipotesi al fine di ridurre la complessità della simulazione su Flexsim.

4.2 Parametri di input magazzino

Come già detto, l'EDC di Torino si estende su un'area di 60.000 mq e ha un'altezza di circa 12 metri.

L'interno del magazzino è diviso in sei sale: A-B-C-E-H-L.

Ogni sala è formata da diversi corridoi, codificati in base alla lettera di sala, in cui sono posizionati su ambo i lati i bin, cioè le isole di stoccaggio dei prodotti, che sono identificati da un indirizzo di stoccaggio.

Un esempio di struttura dell'indirizzo è BC01L0:

- B: Sala
- C: Corridoio
- 01: Posizione bin
- L: Livello (carattere fisso)
- 0: Livello in verticale

Il magazzino viene poi suddiviso in sotto-magazzini in base alla gamma di prodotto, al fine di aiutare gli operatori nel processo di prelievo e stoccaggio.

Uno dei punti di forza della Michelin è quello della differenziazione del prodotto. Michelin infatti produce oltre 2000 articoli con CAI diverso rispetto ad ogni tipo di veicolo su strada, in grado di coprire tutte le fasce di mercato, dallo pneumatico standard a quello più innovativo.

Per ridurre questa gran variabilità, si è deciso di clusterizzare gli articoli in 4 famiglie:

- Turismo
- Pesi Lordi
- Agro
- Due ruote (2R)

Per Turismo si intende lo pneumatico per ogni tipo di autovettura. I Pesi Lordi sono gli pneumatici tipici dei camion. L'Agro comprende tutte quelle coperture destinate ai veicoli e rimorchi agricoli. Le 2R sono invece gli pneumatici destinati a veicoli a due ruote e biciclette. Dato il peso di ogni copertura, ogni articolo viene posizionato su degli appositi contenitori, chiamate anche pedane, che vengono movimentate all'interno del magazzino.

Le pedane presenti in magazzino vengono chiamate: P10-P20-P30-P60. Esse differiscono in larghezza, altezza e profondità in base al tipo di articolo posizionato. La quantità di pedane in ogni indirizzo è decisa in base alle classi di rotazione.

Una classe di rotazione esprime il livello di movimentazione dell'articolo in funzione della vendita dello stesso. Se l'articolo è molto venduto la rotazione e il relativo spazio a magazzino sarà elevata.

Gli indirizzi vengono divisi per classi di rotazione che ne definiscono la profondità espressa in posti pedana.

4.3 Parametri di input veicoli ed operatori

Al fine di valutare la soluzione di Enermove basata sulla tecnologia WPT applicata nella ricarica dei carrelli elettrici, è necessario conoscere le specifiche più importanti del parco carrelli Michelin.

La flotta Michelin comprende in totale 41 carrelli divisi in:

- 27 Carrelli retrattili
- 6 Carrelli con forche estendibili
- 3 Carrelli a pinza fissa
- 3 Carrelli a pinza rotativa
- 2 Carrelli frontali

I dati relativi alla prestazione dei carrelli elettrici sono stati ricavati considerando la tipologia di carrello più utilizzato in magazzino vale a dire quello retrattile.

Il carrello retrattile è un veicolo elettrico in grado di eseguire spostamenti, inversioni di marcia e operazioni di sollevamento, grazie allo spostamento del montante verso il baricentro della macchina. Per depositare o prelevare i pallet nella/dalla scaffalatura, la macchina deve essere posizionata centrandola davanti all'unità di carico e il montante spostato verso l'esterno, agevolando le manovre.

Michelin utilizza il carrello retrattile elettrico FM-X della Still, nota azienda di produzione e vendita di carrelli elevatori.

L'azienda ha deciso di utilizzare questa tipologia di carrelli perché essi si sposano perfettamente con le caratteristiche del magazzino; infatti con tali carrelli, gli operatori della Michelin sono in grado di operare attraverso i corridoi in modo pratico e sicuro.

I carrelli vengono ricaricati in un apposito locale all'interno del magazzino chiamato locale caricabatteria.

Per Michelin la disponibilità di carrelli pronti all'uso è fondamentale. Per tale motivo si è lavorato molto negli ultimi anni per migliorare l'autonomia carrelli, ridurre i tempi di ricarica e cercando di ottimizzare i consumi energetici.

Tutti i carrelli della flotta Michelin sono dotati di batteria a piombo-acido, fatta eccezione per un solo carrello alimentato dalla moderna tecnologia agli ioni di litio. Questa scelta ricade sull'evidenza che le batterie a piombo acido permettono un livello di autonomia maggiore rispetto alle batterie alimentate con tecnologia a ioni di litio. Inoltre le batterie a ioni di litio,

anche permettono una ricarica in tempi molto breve, generano un consumo energetico non sostenibile per la struttura.

Sono stati installati in alcuni carrelli, tredici per l'esattezza, una doppia batteria; ciò permette al carrello di raddoppiare la sua autonomia e quindi di riuscire a lavorare per due turni di lavoro consecutivi senza bisogno di ricarica.

Le prestazioni tecniche di velocità, sollevamento delle forche, capacità di carico e batteria dei carrelli sono state rilevate sul magazzino stesso attraverso delle simulazioni.

La tabella seguente presenta la scheda tecnica di un carrello FM-X20:

Scheda tecnica	Velocità max	12 km/h
		7 km/h con pedane a 500 mm o senza cintura
		5 km/h con forche sollevate
		2 km/h in caso di crush
	Velocità elevazione forche	15s in salita
		21s in discesa
	Altezza di sollevamento	7-8 mt
Peso	945 kg	
Max Capacità di carico	Fmx-20: 2000 kg	
Batteria	Tipo batteria	Piombo-acido
	Tensione batteria	48 V
	Capacità batteria	620 (Ah in 5 ore)
	Tempo di ricarica	6-8 h

Figura 13- Parametri carrello elettrico retrattile Still FM-X utilizzato in Michelin

4.4 Logiche di entrata

L'attività di Demand Forecasting del gruppo Michelin diventa fondamentale per elaborare la quantità di articoli che devono transitare dall'EDC fino al cliente finale.

Per tale motivo, le attività di entrata e uscita sono strettamente correlate tra loro e quindi la tempistica dell'intera filiera logistica deve essere pienamente rispettata per poter offrire un servizio di alta qualità

Analizzando il flusso in entrata dell'EDC esso viene programmato dai planneur con il supporto della direzione centrale, indicando le date e gli orari di arrivo dei vettori in arrivo dagli altri magazzini Michelin sparsi per l'Europa.

Il sistema Michelin, basandosi sulle risorse disponibili, stima i tempi di completamento di scarico con l'obiettivo di prevedere il numero di camion che il magazzino è in grado di scaricare.

Le entrate in magazzino vengono programmate di notte dalle 22 fino alle 11 del mattino seguente.

I planneur preparano la pianificazione dell'inbound il giorno prima, stampando un documento chiamato plan che mostra tutti i camion in arrivo con le relative informazioni di contesto quali: il magazzino di provenienza, la composizione del carico in arrivo, la data prevista di arrivo, l'orario di scarico previsto, l'Estimated Time Arrived (ETA) che notifica eventuali ritardi.

Il plan giornaliero verrà aggiornato progressivamente agli scarichi effettuati, trascrivendo l'orario reale di arrivo e l'orario reale di fine scarico. Queste informazioni sono importanti per capire eventuali casistiche di ritardo sia da parte del vettore che degli operatori Michelin.

Successivamente al plan, i piloti generano una lista di controllo ricevimento, che viene utilizzata dai magazzinieri per controllare gli articoli e verificare che non ci siano mancanze o eccedenze, e una lista di indirizzamento che viene utilizzata dai magazzinieri per posizionare le pedane contenente le coperture nei vari indirizzi del magazzino.

Il responsabile operativo decide quante risorse destinare ad ogni scarico. In genere ad ogni scarico viene associata una squadra che è composta da quattro operatori.

Nella lista di controllo ricevimento viene indicato il numero delle pedane necessarie allo scarico. L'attività di scarico comincia quindi nel momento in cui i magazzinieri prelevano le pedane vuote nell'apposita zona in magazzino e le posizionano presso la porta di scarico.

Una volta che un camion arriva alla porta di scarico, un operatore Michelin, chiamato accettatore, ha il compito di verificare l'integrità del piombo del camion al fine di accertarsi che questo non sia stato aperto durante la consegna.

L'accettatore porta con sé la lista controllo ricevimenti, la lista degli indirizzamenti e la scheda identificativa di scarico, documento che serve per rilevare eventuali anomalie, e dopo aver segnato l'orario reale di arrivo le consegna ai magazzinieri incaricati di scaricare il camion.

Nel caso di carico composto prevalentemente da coperture di tipo Turismo, l'attività di scarico viene gestita da due operatori che, basandosi sulla lista controllo di ricevimento e utilizzando un tappeto trasportatore, prelevano le coperture dal camion, ne controllano gli standard qualitativi e le posizionano nelle pedane.

Gli altri due operatori si occupano di movimentare le pedane presso il box di scarico per facilitare le operazioni.

Se lo scarico presenta un'anomalia il magazziniere contatta il pilota che aggiorna il movimento in entrata nel sistema informativo e il planneur che effettua il reclamo.

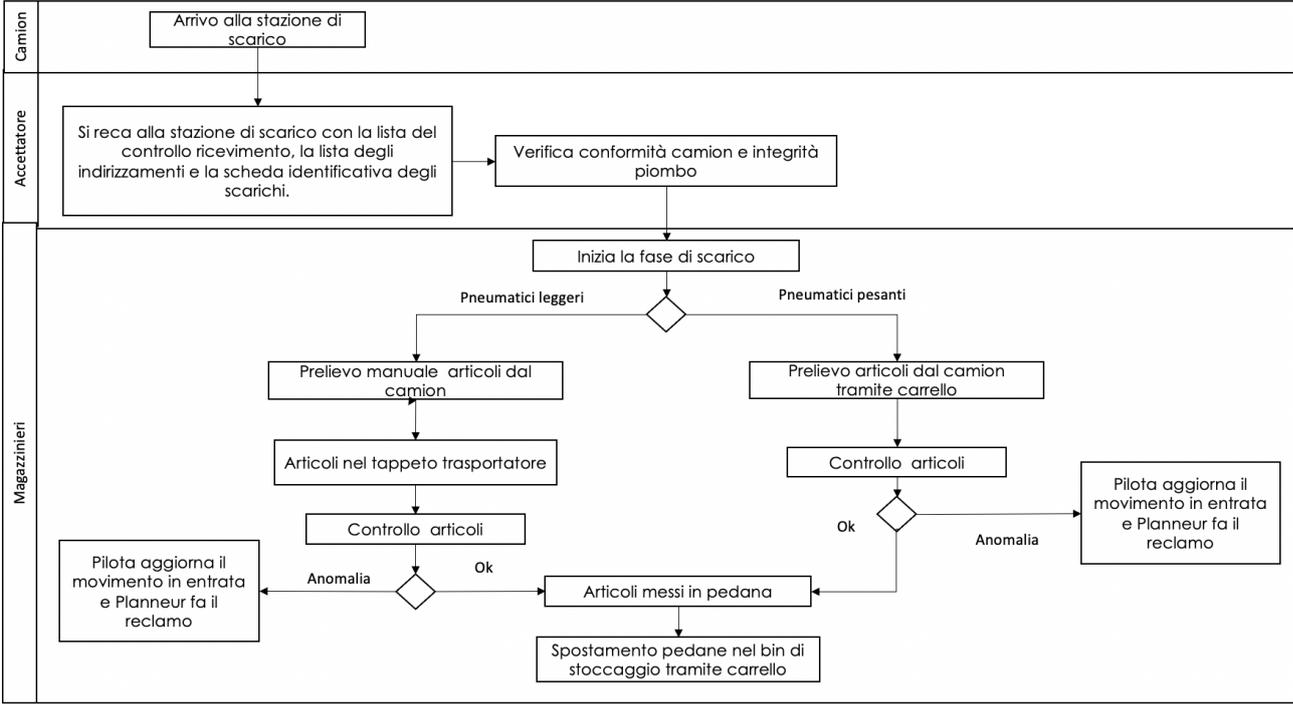


Figura 14- Logica di entrata

4.5 Logiche di stoccaggio

Conclusa l'attività di scarico i magazzinieri utilizzano la lista degli indirizzamenti per posizionare gli articoli nelle varie sale del magazzino.

La lista di indirizzamento generata dai piloti contiene quindi le istruzioni su dove immagazzinare gli articoli in base al diverso CAI a bordo di ogni carrello.

Dalla lista di indirizzamento è possibile comprendere la logica di stoccaggio.

La logica di stoccaggio prevede che la circolazione dei carrelli segue l'ordine dei corridoi delle sale in magazzino in base all'articolo appena entrato in magazzino.

4.6 Logiche di uscita

L'attività di outbound dell'EDC vede come protagonisti a monte i processi di ordinazione e pianificazione delle consegne, e a valle i processi di prelievo e carico degli articoli.

L'evento iniziale del processo è la richiesta d'ordine di un cliente. La gestione degli ordini è affidata al servizio clienti.

Il cliente può richiedere un ordine in due diverse opzioni.

Con la prima opzione il cliente può contattare il servizio clienti ed evadere un ordine specificando la quantità richiesta. In questo caso sarà compito del servizio clienti verificare che la merce dell'ordine sia disponibile in magazzino e pianificare una data di consegna ed eventuali richieste del cliente in merito alla sua capacità di ricezione della quantità richiesta.

I nuovi clienti che vogliono acquistare i prodotti Michelin vengono registrati e codificati in base alla ragione sociale e P.IVA. Si effettuano controlli di credito per verificare che il cliente è in grado di pagare i prodotti che vuole acquistare e si codificano anche eventuali caratteristiche del cliente come ad esempio la zona di locazione.

L'obiettivo primario della Michelin è la soddisfazione del cliente e quindi si cerca di venire incontro a tutte le esigenze del cliente, ovviamente ai limiti del possibile.

Una volta evaso l'ordine il servizio clienti lo invia ai planneur in magazzino attraverso l'apposito sistema informativo

Con la seconda opzione è il cliente stesso che elabora l'ordine attraverso una piattaforma dedicata. In questo modo il cliente si interfaccia direttamente con il primo sistema informativo, scavalcando parzialmente il servizio clienti, che dovrà solo confermare l'ordine alla logistica. Il servizio clienti si occupa pure della gestione dei resi e di eventuali annulli o verifiche. La quantità di prodotti ordinati è molto variabile e può venire in anticipo di mesi in base agli articoli stagionali. Ad esempio i clienti che acquistano articoli per moto concentrano i propri ordini in primavera, mentre clienti che acquistano articoli per vetture concentrano i propri ordini ad agosto per le gomme invernali e a dicembre per le gomme estive.

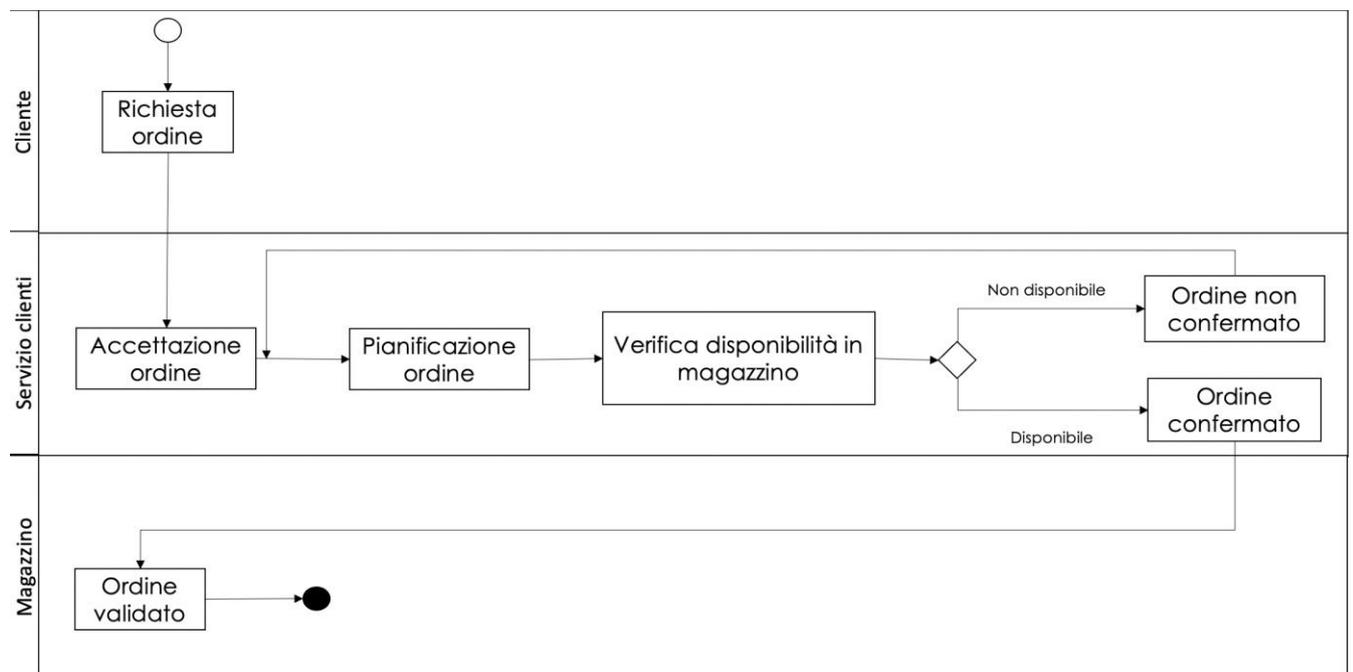


Figura 15- Processo di richiesta ordine

Gli ordini inviati al magazzino vengono gestiti dai planner che hanno l'obiettivo di pianificare le consegne, cercando di ottimizzare i costi.

I planner convalidano gli ordini e organizzano le consegne dalle 9 alle 18, momento in cui avviene il cut-off degli ordini. Dal momento che un cliente può richiedere un ordine da un momento all'altro, i planner devono impegnarsi a gestire l'uscita dei prodotti in modo da andare incontro alle esigenze del cliente e cercando di limitare i costi di spedizione.

Il planner, durante la giornata, pianifica le consegne del giorno seguente che sarà in consegna il giorno ancora successivo. Per tale ragione si dice che il planner lavora a J+2.

In generale Michelin garantisce la consegna in un giorno per i clienti del nord o del centro Italia, in due giorni per i clienti del sud Italia e in tre giorni per quelli delle isole.

Data la filosofia aziendale basata sulla customer centricity, il sistema Michelin predispone un'organizzazione di consegna ad hoc per ogni suo cliente. Le consegne vengono raggruppate in determinate zone d'Italia, per la quale viene corrisposta una certa tariffa, e assegnano a loro una specifica etichetta chiamata tournée.

Nella tournée vengono specificate tutte le informazioni necessarie di consegna come la direzione del camion, la modalità di spedizione e la tariffa applicata.

Il planneur visualizza tutte le tournée generate dal sistema informativo e comincia a pianificare le consegne.

La pianificazione delle consegne devono rispettare due vincoli fondamentali: quello di sostenibilità per il vettore e quello della saturazione dei camion.

Il primo vincolo consiste nel raggruppare tournée che dovrebbero servire clienti nelle aree vicine.

Con il secondo vincolo si stima quante consegne è possibile allocare per ogni camion considerando che ogni camion non deve essere più pesante di 13 t e non deve avere un volume superiore a 70 m³.

In base al peso, espresso in termini di volume occupato nel camion, di ogni consegna il planneur sceglie la modalità di spedizione più efficiente. Le tre modalità di spedizioni Michelin sono:

- FTL
- Milk-Run
- Consegna in piattaforma

In particolare, le consegne con un peso che varia tra le 6 e le 12 tonnellate vengono isolate e vengono trattate singolarmente attraverso una tournée dedicata che specifica la consegna diretta dall'EDC fino al cliente.

Per le consegne con un peso inferiore alle 2,5 tonnellate la modalità di spedizione preferita è quella della piattaforma.

Questa modalità consente la consegna verso clienti più piccoli che si trovano in aree vicine. Una volta saturato, il camion si dirige verso la piattaforma dove ci sarà lo scarico degli articoli, che poi verranno caricati su altri vettori che effettueranno la consegna presso i vari clienti.

Se non si riesce a saturare completamente il camion con le dirette o il cliente da servire non si trova nelle aree vicine, ma si trova vicino ad una delle piattaforme dedicate, gli ordini di grandi quantità possono essere gestiti mettendo gli articoli che li compongono in testa alla navetta, cioè

in fondo al camion così che il bilico dopo aver consegnato in piattaforma vada in consegna al cliente.

Infine, per le consegne con un peso che varia tra le 2,5 e le 6 tonnellate i cui clienti si trovano nei pressi dell'EDC si organizza la modalità di spedizione chiamata Milk-Run che consiste in un giro già programmato nelle varie zone dei clienti.

La pianificazione di queste operazioni deve essere condivisa costantemente con la società che si occupa della logistica outbound, in quanto tale funzione è affidata a terzi da Michelin.

Per offrire un servizio di alta qualità, il coordinamento con i fornitori è fondamentale. I fornitori devono comunicare costantemente con i planneur del magazzino per confermare la disponibilità della flotta e gestire eventi imprevedibili.

Per quanto riguarda gli orari, i bilici delle dirette partono in base all'orario e alla destinazione di consegna per il cliente. È la società di contract logistics che decide di dare una priorità dei bilici in base alla disponibilità dei camion e degli operatori.

Le navette organizzate per le piattaforme seguono invece una schedulazione oraria, in cui viene riportato l'orario di partenza e l'orario di inizio carico, orario che varia in base alla quantità di navette organizzate. Tale schedulazione è risultata essere un'informazione di importanza primaria per la costruzione del flusso in uscita del modello.

Infine la modalità di spedizione in Milk-Run viene organizzata dopo le 18.

Ad ogni chiusura di navetta o diretta, il planneur invia, tramite sistema informativo, gli ordini da evadere ad un'altra figura fondamentale all'interno del gruppo Michelin, cioè il pilota che ha il compito di lanciare gli ordini e gestire lo stock in magazzino.

Le logiche di consegna diventano fondamentali in quanto ad ogni modalità di consegna è associata una diversa logica di prelievo degli articoli in magazzino e movimentazione dei carrelli.

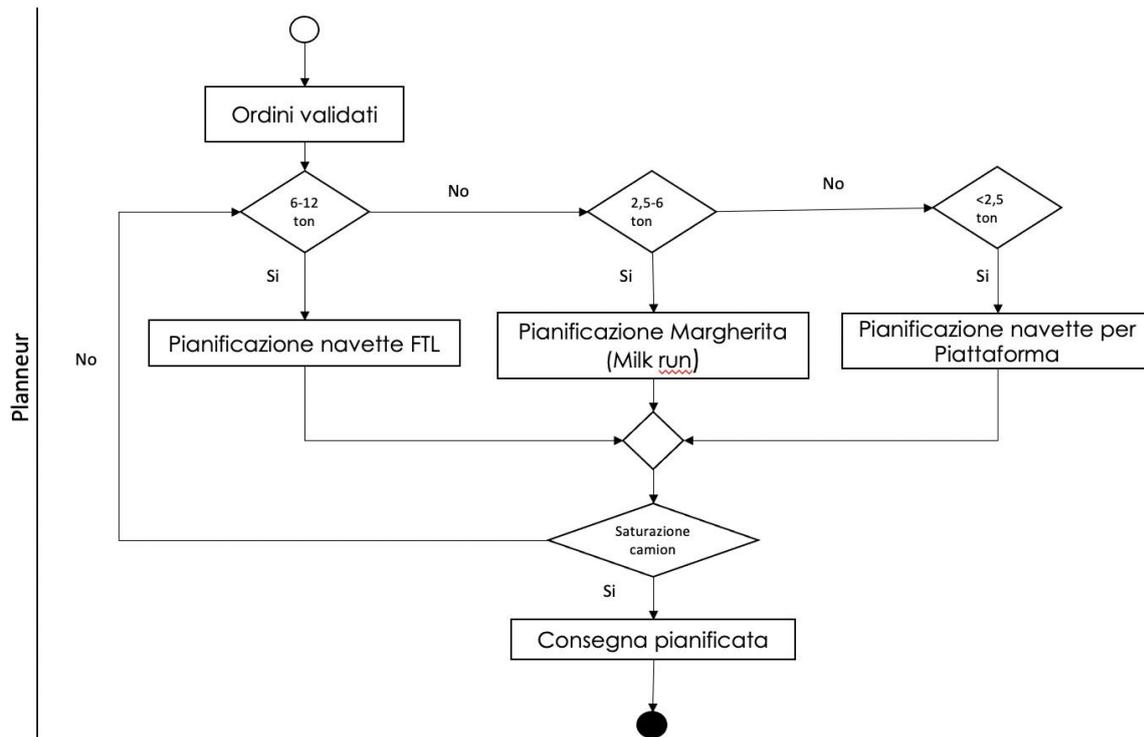


Figura 16- Processo di pianificazione consegne

Una volta che la consegna è stata chiusa dal planneur, il pilota, utilizzando il proprio sistema informativo, lancia l'ordine e dà inizio alla fase di picking.

Lanciare un ordine significa stampare la bolla dell'ordine di prelievo e le relative etichette da attaccare ad ogni pneumatico, che vengono prese in carico dai magazzinieri per la fase di prelievo degli articoli.

Il pilota prima di lanciare deve verificare se nell'ordine da evadere sono presenti articoli della famiglia Agro, in quanto per prelevare questi articoli si deve utilizzare un carrello diverso da quello retrattile descritto in precedenza. In caso di coperture Agro queste vengono lanciate separatamente e viene stampata una bolla di prelievo che viene inserita in un apposito spazio in magazzino chiamato collisage. Differente da quanto accade per l'Agro, le coperture Turismo e Peso Lordo vengono lanciate contemporaneamente.

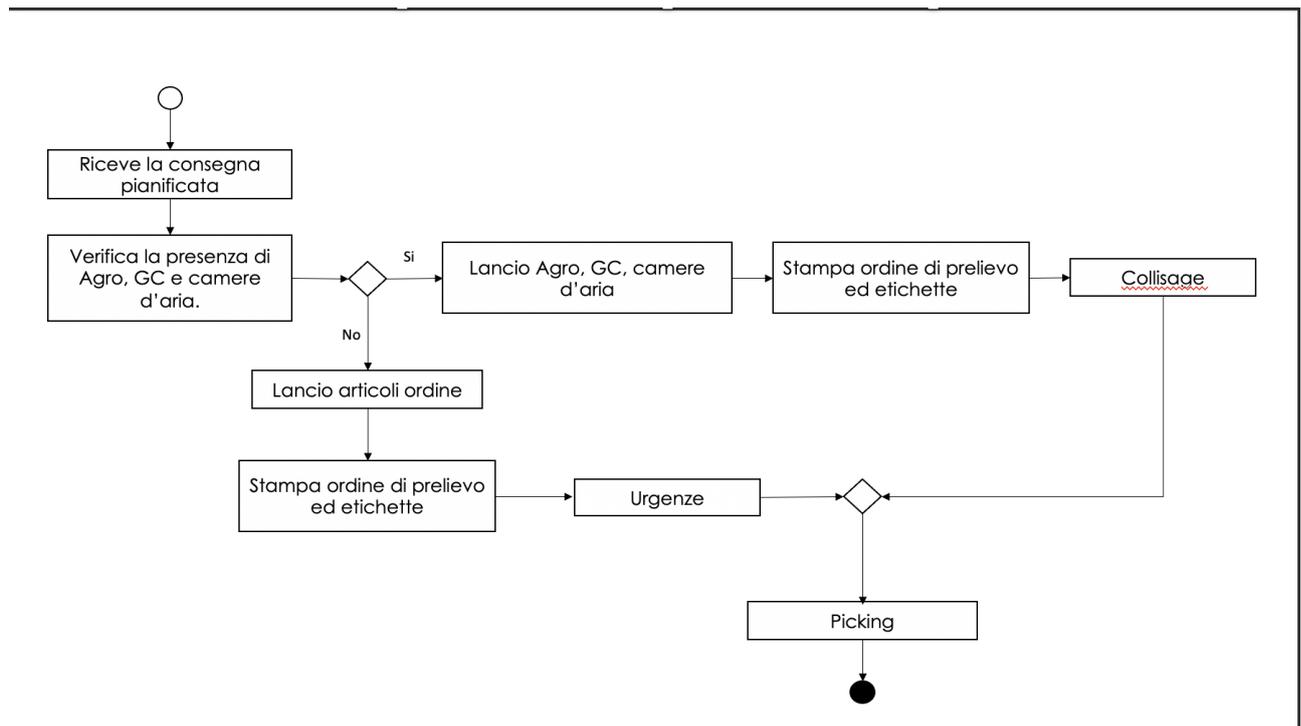


Figura 17- Processo di preparazione picking

Il sistema con la quale il pilota lancia gli ordini segue una logica di prelievo che dipende dalla modalità di consegna pianificata.

Se la modalità di spedizione è FTL, cioè le dirette per un cliente, il prelievo avviene secondo il codice CAI dell'articolo, in modo tale che il cliente si trova tutti gli articoli compattati quando deve scaricare.

Se la modalità di spedizione è il Milk Run il sistema utilizzato dai piloti tiene conto che l'evasione delle consegne giornaliere devono essere organizzate secondo un ordine di clienti sequenziale. Quindi il sistema raggruppa gli articoli e li posiziona in base alla sequenza specifica dei ordini dei clienti da evadere. In questo modo risulta essere più veloce e più facile per il cliente scaricare la parte del camion relativo al suo ordine.

Se la modalità di spedizione pianificata è la consegna in piattaforma non è necessario organizzare una sequenza di scarico dal momento che gli articoli saranno movimenti dagli operatori della piattaforma. In questo caso quindi è necessario facilitare la circolazione dei magazzinieri all'interno del magazzino e il prelievo degli articoli avviene seguendo il senso di marcia dei corridoi di ogni sala, individuando le posizioni degli articoli relativi all'ordine da evadere.

Il prelievo degli articoli viene gestito dai magazzinieri, che in base alla bolla di ordine di prelievo si movimentano con il carrello verso l'indirizzo dell'articolo, prelevano la pedana nel

quale sono presenti gli articoli dell'ordine da evadere e li conduce presso la porta scelta del responsabile operativo per il carico del camion. I magazzinieri sono dotati di strumenti a radiofrequenza grazie al quale si è in grado di monitorare l'andamento del prelievo e mappare la posizione e le condizioni della merce per ovviare ad eventuali anomalie.

Grazie al sistema RFID si riesce controllare le operazioni di magazzino e a visualizzare i dati di stock in tempo reale. La radiofrequenza aumenta l'efficienza e riduce i costi delle operazioni di magazzino.

L'efficienza di questo sistema dipende molto dall'attività dei magazzinieri. La gestione dei magazzinieri diventa di fondamentale importanza in quanto dalla loro performance dipende la produttività del magazzino e i suoi costi.

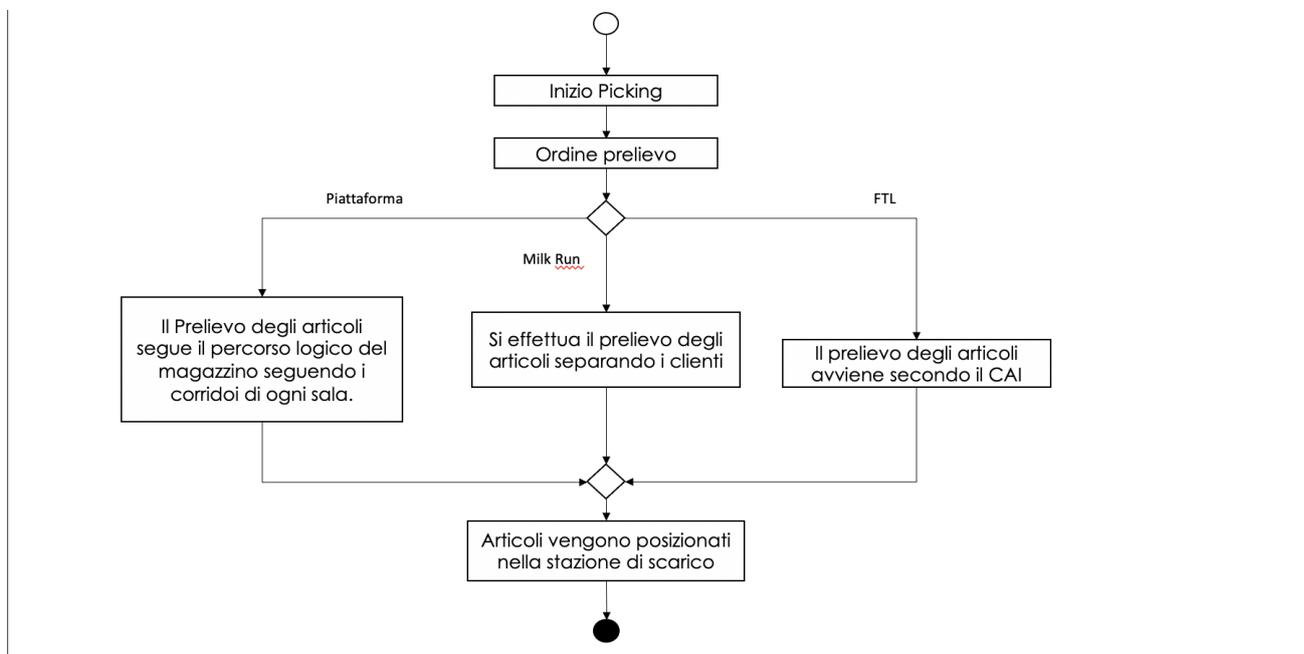


Figura 18- Processo di picking

Una volta terminata l'attività di picking viene coinvolto l'equipe de carriere, che corrisponde ai fornitori di Michelin.

Il team deve verificare che tutti gli articoli ordinati dal cliente siano stati correttamente prelevati. Se non si trovano mancanze o errori di prelievo, il team avvia l'attività di composizione del camion caricando prima le coperture più pesanti e che occupano più spazio quali Pesi Lordi o Agro e poi le coperture meno ingombrati quali Turismo e Due ruote.

Conclusioni

Con l'apporto tecnologico di Enermove, Michelin si propone di migliorare la gestione e il monitoraggio dell'energia e la produttività dell'impianto nell'ottica di Industria 4.0.

L'introduzione di tale tecnologia all'interno del polo logistico permetterebbe di eliminare le problematiche legate alla sostituzione o ricarica delle batterie, aumentando l'operatività del carrello e di conseguenza la redditività del reparto.

La ricarica DWC risolve la maggior parte dei problemi del veicolo elettrico, come autonomia, dimensione della batteria e il costo della stessa. Il vantaggio principale di questa tecnologia è la riduzione del Total Cost of Ownership dal momento che fornendo una ricarica durante tutto il percorso è possibile installare sul veicolo una batteria di dimensioni minori, riducendo perciò l'investimento necessario per questo componente e non dovendo rinunciare all'autonomia di percorrenza del veicolo.

I vantaggi dell'utilizzo di una batteria di dimensioni inferiori si riflettono anche sulla riduzione del peso del veicolo e sull'aumento dello spazio disponibile all'interno di esso.

Il vantaggio che Michelin trarrebbe in merito alla riduzione della dimensione della batteria sarebbe di notevole impatto sia economico che ambientale dal momento che alcuni carrelli della flotta del magazzino sono dotati addirittura di due batterie.

La tecnologia wireless studiata da Enermove consentirebbe a Michelin non solo di abbattere i costi del fermo macchina, ma anche di adottare una politica di manutenzione sui veicoli industriali elettrici più flessibile. Infatti, grazie al monitoraggio del sistema da remoto possono essere prevenuti guasti e utilizzi impropri e di conseguenza risulterà significativamente ridotto il ricorso a interventi manutentivi di riparazione.

Per Michelin, la progressiva eliminazione degli accumulatori tradizionali permetterà di sopprimere le zone dedicate alla rigenerazione delle batterie in stabilimento e tutta una serie di infrastrutture necessarie, con conseguenti benefici su sicurezza ed ambiente.

Non da sottovalutare il tema della sicurezza. Le operazioni di ricarica delle batterie dei carrelli elettrici rappresentano uno dei fattori di rischio di incendio/esplosione solitamente meno controllati negli stabilimenti.

Con la tecnologia WPT non c'è rischio di folgorazione poiché non ci sono elementi in tensione esposti, quindi è possibile toccare qualsiasi parte del veicolo senza timore.

Nonostante una serie di vantaggi pratici ed economici forniti dal sistema di Dynamic Wireless Charging, non mancano in merito allo sviluppo di questa tecnologia limiti e perplessità.

Il problema principale della DWC riguarda la sua distribuzione, a causa di un gran investimento da effettuare per la sua installazione.

La riconversione del magazzino in direzione della DWC rappresenta sicuramente l'investimento più oneroso.

In questo contesto si potrebbe dire che il risparmio economico derivante dalla riduzione della dimensione delle batterie dei veicoli elettrici caricati dinamicamente, viene controbilanciato dall'aumento dei costi che si trasferirebbero sulla rete elettrica interrata nella pavimentazione del magazzino.

Uno degli aspetti più critici in fase di progettazione e dimensionamento delle bobine trasmettenti riscontrati da Enermove è sicuramente la valutazione delle condizioni al contorno, ovvero l'ambiente nel quale deve essere immersa la bobina.

Da analisi e ricerche condotte sul campo si è visto che la quasi totalità delle pavimentazioni industriali presenta, al di sotto delle lastre in calcestruzzo, delle reti elettrosaldate. La presenza di materiali metallici nella pavimentazione comporta necessariamente una modifica dei parametri elettrici e magnetici di progetto.

Per tali ragioni Michelin potrebbe cominciare ad adottare questo nuovo tipo di tecnologia implementando in magazzino un sistema di ricarica wireless di tipo statico.

In conclusione, Michelin, indirizzata verso l'implementazione di nuove soluzioni innovative con l'obiettivo di riconvertire i magazzini esistenti in strutture automatizzate e ad impatto zero, deve valutare il valore di recupero sia in termini economici che in termini di risparmio di tempo dell'investimento iniziale.

L'utilizzo di software di simulazione grado di riprodurre le attività di gestione di magazzino e creare scenari alternativi, risulta essere il modo più affidabile per predire l'affidabilità delle prestazioni, l'accuratezza del risultato e la fattibilità dell'investimento.

Bibliografia

- [1] Osservatorio Contract Logistics “Gino Marchet”. “Tecnologia, organizzazione e competenze: la svolta per una Logistica 4.0”
- [2] Simco Consulting, “Analisi” costi Supply Chain Logistic
- [3] EFT, “The state of logistic report 2019”
- [4] Plambeck, “Reducing greenhouse gas emissions through operations and supply chain management, 2012
- [5] United Nations Environment Programme (UNEP), “The Emissions Gap Report 2012”, 2012
- [6] Olivier et al., “Trends in global CO₂ emissions”, 2013
- [7] World Economic Forum (WEF), “Supply Chain Decarbonization”, 2009
- [8] Wu and Dunn, “Environmentally responsible logistics systems”, 1995
- [9] Dey et al., “Building sustainability in logistics operations: a research agenda”, 2011
- [10] Strack and Pochet, “An integrated model for warehouse and inventory planning”, 2010
- [11] Department of Energy and Climate Change (DECC)UK Government, “Energy Consumption in the UK”, 2013
- [12] Dhooma and Baker, “An exploration framework for energy conservation in existing warehouses”, 2012
- [13] Bonney and Jaber, “Environmentally responsible inventory models: non-classical models for a non-classical era”, 2011
- [14] Zajac, “The idea of the model of evaluation of logistics warehouse systems with taking their energy consumption under consideration”, 2011
- [15] Meneghetti and Monti, “Sustainable storage assignment and dwell-point policies for automated storage and retrieval systems”, 2013
- [16] Johannes Fichtinger et al., “Assessing the environmental impact of integrated inventory and warehouse management”, 2015
- [17] Kenneth W. Green Jr, Pamela J. Zelbst, Jeremy Meacham, Vikram S. Bhadauria, “Green supply chain management practices: impact on performance”, 2012

[17] Vincenzo Cirimele, Fabio Freschi, Paolo Guglielmi, “Wireless power transfer structure design for electric vehicle in charge while driving”, 2014

[18] V. Cirimele, M. Diana, F. Freschi, M. Mitolo, “Inductive power transfer for automotive applications: state-of-the-art and future trends”, 2018

[19] C. Rondena, “Tecnologie per il Wireless Power Transfer: stato dell’arte e prospettive future”, 2016.

[20] Enermove, <http://www.enermovesrl.it>