

# **Università degli studi di Padova**

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Gestionale

JO-BOX: L'AMR ECONOMICO PER LA MOVIMENTAZIONE DI PICCOLI CARICHI

Relatore: Prof. Alessandro Persona

Laureando: Farronato Andrea

Anno accademico 2023-2024



# SOMMARIO

Il presente lavoro si pone la finalità di illustrare i vantaggi derivanti dall'introduzione di una flotta di AMR in ambito industriale, discutendo i vincoli di processo, ambientali ed organizzativi che dovrebbero essere attentamente valutati nel momento della definizione e del dimensionamento della soluzione. Il progetto di tesi è stato realizzato prendendo come riferimento la struttura, la tecnologia ed il funzionamento di Jo-Box, un AMR per la movimentazione di piccoli carichi nato da una partnership tra l'azienda iMilani srl-SB di Rosà e una ditta esterna.

Il lavoro è suddiviso in tre parti: la prima all'interno della quale vengono trattate le caratteristiche generali, le funzionalità e le specifiche di Jo-Box, la seconda relativa al processo di installazione e di utilizzo dell'AMR, e la terza dove vengono riportate alcune considerazioni generali, estratte dall'esperienza fatta, in merito a come affrontare le problematiche più ricorrenti nella delicata fase di inserimento di una soluzione di robotica mobile in azienda.

In particolare, nella prima parte verranno esplicitati i seguenti temi: l'architettura di Jo-Box, i sistemi di localizzazione e navigazione, il collision checker ed il re-routing, i sistemi di sicurezza, l'architettura del sistema, i costi e benefici derivanti da tipologie diverse di batterie installate e l'integrabilità ed interoperabilità del robot.

Nella seconda parte, invece, verrà fornita una spiegazione dettagliata di tutti i passaggi necessari per l'installazione del dispositivo o di una flotta e delle modalità di utilizzo di Jo-Box da parte degli operatori. Si fa riferimento, in particolare, ad un'installazione dell'AMR avvenuta nel 2023 presso un cliente dell'azienda.

Nella terza ed ultima parte, infine, verranno illustrate le possibili problematiche inerenti l'impatto organizzativo della tecnologia in esame e le opportune azioni di pianificazione e formazione volte ad evitare le stesse.



# INDICE

<b>SOMMARIO.....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE.....</b>	<b>5</b>
<b>LISTA DELLE TABELLE.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE.....</b>	<b>8</b>
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>11</b>
1.1 L'azienda iMilani.....	11
1.2 Introduzione di Jo-Box.....	12
1.3 Funzionamento generale di un AMR.....	13
1.3.1 Differenze principali tra AMR e AGV.....	14
1.3.2 Campo di applicazione di un AMR.....	16
<b>2 DESCRIZIONE GENERALE DI JO-BOX.....</b>	<b>19</b>
2.1 Caratteristiche dimensionali.....	19
2.2 Componenti principali.....	20
2.2.1 Descrizione componenti.....	21
2.3 Dispositivi di sicurezza.....	22
2.4 Personalizzazione del piano di carico.....	23
<b>3 CARATTERISTICHE E FUNZIONAMENTO DI JO-BOX.....</b>	<b>25</b>
3.1 Localizzazione e navigazione .....	25
3.1.1 Effetti delle modifiche ambientali.....	28
3.1.2 Modalità di rilevamento ostacoli e re-routing.....	29
3.1.3 Grafo dei percorsi possibili e spazi di manovra consentiti.....	30
3.2 Architettura di sistema.....	32
3.2.1 FMS (Fleet Management System).....	33
3.3 Alimentazione e durabilità.....	35
3.3.1 Tipologie di batterie.....	36
3.3.2 Funzione ECO.....	39
3.4 Integrabilità ed interoperabilità.....	39
<b>4 MODALITÀ DI INSTALLAZIONE.....</b>	<b>41</b>
4.1 Operazioni preliminari.....	41
4.1.1 Installazione e collegamento base di ricarica.....	41
4.2 Settaggio della macchina.....	42
4.3 Mappatura.....	43
4.4 Editing della mappa.....	46
4.5 Installazione di una flotta.....	50

4.5.1	Dimensionamento flotta.....	51
4.5.2	Esempio di dimensionamento per un cliente.....	53
<b>5</b>	<b>UTILIZZO DI JO-BOX.....</b>	<b>59</b>
5.1	Front-end.....	59
5.2	Interfaccia su Jo-Box e ciclo di lavoro.....	62
5.3	Interfaccia remota.....	63
5.4	Analisi dei dati.....	64
5.5	Manutenzione ed assistenza.....	65
<b>6</b>	<b>IMPATTO ORGANIZZATIVO.....</b>	<b>67</b>
6.1	Possibili problematiche.....	67
6.2	Pianificazione della soluzione.....	70
6.2.1	Modalità di pianificazione dei percorsi e riduzione dei rischi...71	
6.3	Formazione del personale.....	72
6.4	Sicurezza di Jo-Box e idoneità a convivere con le persone.....	73
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>75</b>
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>77</b>

# **LISTA DELLE TABELLE**

Tabella 3.1: Pro/contro tipologie di batterie

Tabella 4.1: Elenco linee produttive

Tabella 4.2: Distanza FROM/TO

# LISTA DELLE FIGURE

Figura 1.1: Logo aziendale

Figura 1.2: Cassetta iMilani

Figura 1.3: Jo-Box

Figura 1.4: Reazione ad un ostacolo

Figura 2.1: Dimensioni Jo-Box

Figura 2.2: Componenti principali

Figura 2.3: Stazione di ricarica

Figura 2.4: Esempio 1 personalizzazione piano di carico

Figura 2.5: Esempio 2 personalizzazione piano di carico

Figura 3.1: Mappatura ambiente tramite scanner laser

Figura 3.2: Grafo dei percorsi possibili

Figura 3.3: Architettura di sistema di Jo-Box

Figura 3.4: Soglie di ricarica

Figura 4.1: Installazione base di ricarica

Figura 4.2: Led Jo-Box

Figura 4.3: Attivazione mappatura tramite il Front-end

Figura 4.4: Connessione tra Map editor e server

Figura 4.5: Schermata RViz

Figura 4.6: Schermata iniziale Map Editor

Figura 4.7: Caricamento della mappa

Figura 4.8: Esempio utilizzo strumenti Map Editor

Figura 4.9: Layout delle linee

Figura 4.10: Definizione del percorso

Figura 4.11: Disegno della struttura

Figura 5.1: Schermata impostazioni

Figura 5.2: Schermata Home

Figura 5.3: Missioni preferite

Figura 5.4: Missioni in corso

Figura 5.5: Schermata Flotta

Figura 5.6: Schermata Allarmi

Figura 5.7: Pulsante “Continua”

Figura 5.8: “Remote Recovery”

Figura 5.9: Schermata RVIZ

Figura 5.10: Richiesta di assistenza



# 1.INTRODUZIONE

La scelta dell'argomento del progetto di tesi deriva dalla mia esperienza lavorativa, che prosegue tuttora, presso l'azienda iMilani srl-SB di Rosà. Un rapporto di lavoro avviato a marzo 2021 sotto forma di stage e trasformato, l'anno successivo, in apprendistato.

L'azienda progetta, da oltre 50 anni, soluzioni etiche e sostenibili per la realizzazione di cassette e contenitori in plastica per la logistica e la movimentazione.

Per soddisfare la crescente richiesta di automazione dei processi di movimentazione e trasporto di materiali all'interno di ambienti industriali o logistici e al fine di offrire al cliente un servizio completo, nel 2022 l'azienda ha deciso di espandere il proprio catalogo prodotti introducendo Jo-Box, un AMR (Autonomous Mobile Robot) in grado di trasportare cassette e contenitori muovendosi autonomamente in un ambiente senza la necessità di essere guidato da un operatore umano o da cavi, bande magnetiche o sensori, che di solito richiedono estese (e costose) modifiche nella configurazione dell'impianto.

Nei capitoli successivi viene quindi innanzitutto spiegato che cos'è un AMR e in che cosa si differenzia da un classico AGV (Automated Guided Vehicle). Partendo da questo concetto vengono quindi illustrati la struttura, la tecnologia ed il funzionamento di Jo-Box, ponendo l'attenzione in particolare sulla semplicità di installazione e di utilizzo del prodotto e sulla capacità di adattarsi agevolmente alle modifiche ambientali.

## 1.1 L'azienda iMilani

L'azienda iMilani nasce il 1° aprile 2020 dalla scissione parziale di Fami Srl, un'azienda leader nella produzione e nella vendita di arredamenti industriali e arredi officina in Italia e nel mondo da oltre 90 anni. L'azienda ha sede a Rosà (VI) e fa parte, assieme alle aziende GAM (Gonzaga Arredi Montessori) ed Anicrin, del gruppo I'M di proprietà della famiglia Milani.

La storia inizia nel 1929 con la nascita dell'Officina Mario Milani. Nel 1972 il figlio Gianni Milani, attuale presidente di iMilani, decide di introdurre i contenitori in plastica come prodotti per una gestione razionale degli spazi. La presenza all'interno di Fami di due "rami" poco correlati tra di loro (ramo plastica e ramo metallo), spingono la proprietà alla scissione parziale dell'azienda in favore di iMilani (nel 2020), alla quale viene assegnato il ramo d'azienda già condotto da Fami inerente l'attività di produzione e commercializzazione di cassette, container, pallets, contenitori e accessori in plastica.



Figura 1.1: Logo aziendale

iMilani si impegna a soddisfare le esigenze della clientela attraverso due linee di prodotti: la linea “IMICUBE” e la linea “IMILOG”. La prima offre una vasta gamma di cassette e contenitori adattabili a diverse necessità; la seconda invece si concentra sulla produzione di contenitori per magazzini automatici, progettati per l’utilizzo esclusivo con sistemi automatici, come trasloelevatori o mini-shuttle.

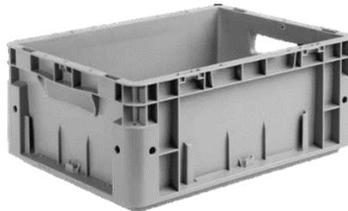


Figura 1.2: Cassetta iMilani

## 1.2 Introduzione di Jo-Box

Nell’aprile del 2022 iMilani ha deciso di introdurre, nel proprio catalogo di articoli offerti al cliente, un AMR (Autonomous Mobile Robot) in grado di trasportare le cassette ed i contenitori che l’azienda produce. Dato, tuttavia, la mancanza delle competenze necessarie in-house per sviluppare questo tipo di prodotto, la proprietà ha scelto di collaborare con un partner esterno. Questa decisione deriva dalla volontà dell’azienda di garantire che il progetto venisse gestito da esperti nel campo della robotica e dell’automazione, assicurando così la qualità e l’affidabilità del risultato finale.

Come partner per lo sviluppo dell’AMR, l’azienda iMilani ha selezionato una startup con cui aveva fatto conoscenza l’anno precedente alla fiera Mecspe di Bologna. Questa decisione evidenzia l’approccio dinamico e aperto all’innovazione da parte dell’azienda, e la volontà di esplorare nuove opportunità per raggiungere i propri obiettivi di sviluppo tecnologico.

Il risultato di tale partnership è Jo-Box, un sistema di trasporto compatto ed efficiente che si muove all’interno di rotte programmate eseguendo semplici missioni da stazioni di carico e scarico a centri di lavoro.

Il robot è una personalizzazione su misura per l’azienda, realizzata ad hoc partendo da un modello preesistente. Il prodotto è stato adattato e configurato specificatamente per soddisfare le esigenze e i requisiti dell’azienda.



Figura 1.3: Jo-Box

## 1.3 Funzionamento generale di un AMR

Un Autonomous Mobile Robot, noto anche come AMR, è un veicolo che sfrutta sensori e unità di elaborazione integrate per muoversi in modo indipendente, senza la necessità di guide fisiche o punti di riferimento esterni. Grazie alla sua capacità di percepire l'ambiente circostante, memorizzare la propria posizione e adattarsi dinamicamente alle condizioni, l'AMR è in grado di pianificare e completare percorsi da un punto specifico, come una stazione di lavoro, una base di ricarica o una destinazione all'interno dell'ambiente, verso un altro punto con autonomia e precisione.

Il funzionamento di un AMR si basa su una serie di componenti e tecnologie integrate che consentono appunto al robot di muoversi autonomamente all'interno di un ambiente. In particolare, vengono sfruttati:

- **Sensori:** gli AMR sono dotati di una varietà di sensori che permettono loro di percepire l'ambiente circostante. Questi sensori possono includere telecamere, scanner laser, sonar, encoder nelle ruote e sensori di prossimità. I sensori forniscono informazioni sulla posizione, sulla distanza dagli ostacoli, sulla navigazione e sull'orientamento.
- **Unità di Elaborazione:** un AMR è equipaggiato di unità di elaborazione, come computer embedded o microcontrollori, che processano i dati provenienti dai sensori e gestiscono algoritmi di navigazione e pianificazione del percorso. Queste unità di elaborazione sono in grado di interpretare le informazioni sensoriali, elaborare mappe dell'ambiente e prendere decisioni in tempo reale per guidare il robot in modo sicuro ed efficiente.
- **Mappatura e Localizzazione:** gli AMR utilizzano algoritmi di mappatura e localizzazione simultanea (SLAM) per creare una mappa dell'ambiente circostante e determinare la propria posizione all'interno di quest'area in modo autonomo. Utilizzando i dati dei sensori e gli algoritmi di SLAM, l'AMR può navigare attraverso l'ambiente in modo preciso e affidabile, evitando ostacoli e pianificando percorsi ottimali.
- **Controllo del Movimento:** gli AMR sono dotati di sistemi di controllo del movimento che gestiscono la velocità e la direzione delle ruote o dei propulsori del robot. Questi sistemi di controllo ricevono istruzioni dalle unità di elaborazione e regolano il movimento del robot per seguire il percorso pianificato ed evitare collisioni con gli ostacoli.
- **Comunicazione:** in alcuni casi, gli AMR possono essere dotati di tecnologie di comunicazione wireless per scambiare informazioni con altri sistemi o con una stazione di controllo centrale. Questa comunicazione può essere utilizzata per inviare aggiornamenti sullo

stato del robot, ricevere nuove istruzioni di missione o sincronizzare le attività con altri AMR o dispositivi nell'ambiente.

### **1.3.1 Differenze principali tra AMR e AGV**

Sebbene AGV (Automated Guided Vehicle) ed AMR siano entrambi impiegati per il trasporto di materiali da un punto ad un altro, le somiglianze tra loro si limitano a questo aspetto. Le differenze tra i due emergono chiaramente quando si analizza la tecnologia sottostante e le relative applicazioni. Come sostiene Murat Köseoğlu et al. (2017), le differenze principali tra AMR e AGV sono da attribuire al diverso meccanismo di autonomia di questi robot.

Nel valutare le distinzioni tra queste due soluzioni per l'automazione della logistica interna, diventa evidente che l'AGV presenta alcune limitazioni significative. Tra queste, spiccano i costi elevati, l'inefficienza e la flessibilità limitata.

La scelta tra l'impiego di AGV o l'adozione di AMR rappresenta una scelta cruciale per molte aziende, soprattutto alla luce delle iniziative e degli incentivi legati all'Industria 4.0.

Comprendere le differenze tra queste tecnologie e il loro impatto sulla struttura aziendale è fondamentale sia per il presente che per il futuro. Molte figure decisionali, infatti, si trovano di fronte al dilemma di restare fedeli agli AGV o di considerare l'adozione di tecnologie più avanzate, come i robot mobili autonomi (AMR).

Vengono riportate di seguito le differenze chiave tra AGV e AMR per quanto riguarda: navigazione, reattività, coordinamento, accessibilità, sicurezza e collaborazione.

#### Navigazione

Gli AGV sono dotati di un'intelligenza di bordo minima e possono solo eseguire istruzioni semplici. Per la navigazione, necessitano di guide fisiche come cavi, bande magnetiche o sensori, che spesso richiedono modifiche estese e costose alla configurazione dell'impianto, talvolta causando interruzioni nella produzione. Gli AGV sono vincolati a seguire percorsi predefiniti, i quali possono richiedere ulteriori costi e modifiche all'impianto se devono essere adattati. La loro adattabilità, inoltre, è limitata, poiché sono progettati per eseguire specifiche missioni.

Al contrario, gli AMR sono caratterizzati da reattività e flessibilità, e sono in grado di adattarsi ai cambiamenti nel layout della fabbrica e di eseguire nuove operazioni senza richiedere modifiche significative nell'ambiente, né risorse sostanziali in termini di tempo o investimenti finanziari. Nel caso, per esempio, di modifiche alla linea di produzione, basta caricare una nuova mappa nell'AMR o consentire al robot di creare autonomamente una nuova mappa, per poterlo utilizzare immediatamente per nuove attività.

Questa capacità può essere paragonata all'uso di un GPS in un'automobile, in cui vengono impostati gli indirizzi di casa e lavoro per generare il percorso più breve sulla base delle informazioni sulla mappa. Allo stesso modo, gli AMR utilizzano le posizioni dei punti di carico e scarico per determinare il percorso ottimale tra di essi.

### Reattività

Durante il processo di navigazione, gli AMR hanno la capacità di identificare e superare eventuali ostacoli per raggiungere in modo sicuro la loro destinazione. Gli AGV, invece, non sono in grado di adattare autonomamente il proprio percorso in presenza di ostacoli e necessitano quindi, nella maggior parte dei casi, dell'intervento umano per riprendere il loro cammino.

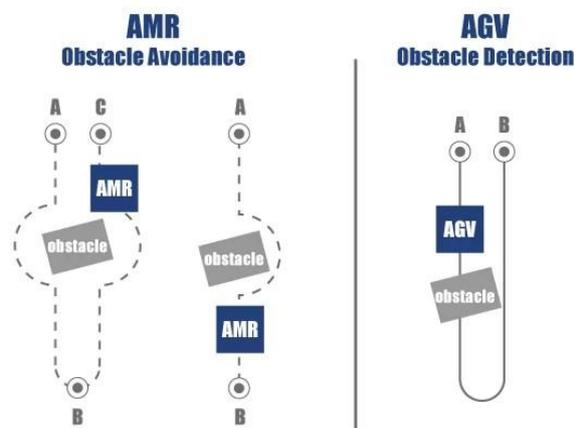


Figura 1.4: Reazione ad un ostacolo

### Coordinamento

La maggior parte degli AGV opera individualmente e richiede una programmazione manuale per evitare collisioni, spesso basata sulla struttura fisica dell'ambiente. Gli AMR che si trovano all'interno di un'unica struttura, al contrario, possono comunicare tra loro a livello di flotta per ottimizzare il traffico, prevenire collisioni e migliorare l'efficienza operativa. Un sistema AMR completo e integrato è in grado di comunicare con i sistemi di produzione, PLC e software gestionali, facilitando un'integrazione efficace tra la logistica degli AMR e i processi produttivi.

### Sicurezza e collaborazione

La sicurezza sul lavoro rimane sempre una priorità fondamentale ed in tal senso tanto gli AGV quanto gli AMR, rappresentano un notevole vantaggio poiché possono svolgere compiti che sono spesso dispendiosi in termini di tempo, ripetitivi, noiosi e pericolosi. Ciò consente ai lavoratori di concentrarsi su attività più preziose e complesse, e contribuisce ad elevare i livelli di sicurezza negli ambienti di lavoro.

La maggior parte dei sistemi AGV, tuttavia, è progettata per operare in aree senza ostacoli e distanti dalle persone. Si tratta di dispositivi generalmente sicuri, poiché si fermano automaticamente quando rilevano un ostacolo; rimangono però bloccati fino a quando l'ostacolo stesso non viene rimosso.

Questo è in netto contrasto con gli AMR; i robot mobili, infatti, sono stati concepiti fin dall'inizio per collaborare con gli esseri umani in ambienti dinamici. Gli AMR possono consegnare direttamente al punto di utilizzo, ovunque esso sia situato, e navigare attraverso gli stessi spazi frequentati dalle persone. Quando un ostacolo viene rilevato e vi è spazio sufficiente per il robot per aggirarlo, un AMR è in grado di farlo e completare la sua missione di consegna in totale sicurezza. La velocità di movimento dei robot, inoltre, non supera quella di una persona che spinge un carrello. Gli operatori, quindi, possono tranquillamente convivere con questa tecnologia.

In conclusione, quando si deve decidere tra AMR e AGV, è importante considerare le esigenze specifiche dell'azienda. Se si necessita di una soluzione mobile che sia flessibile e che possa adattarsi facilmente ai cambiamenti nella struttura, allora probabilmente un AMR è la scelta migliore. Se si vuole invece una soluzione più tradizionale che possa essere utilizzata in un ambiente semplice e che sia facilmente prevedibile, allora un AGV potrebbe essere la soluzione più adatta.

### **1.3.2 Campo di applicazione di un AMR**

Gli Autonomous Mobile Robots (AMR) trovano un'ampia gamma di applicazioni all'interno delle aziende, specialmente nelle fabbriche moderne che abbracciano i principi della produzione intelligente. Grazie alla loro capacità di muoversi autonomamente e di interagire con l'ambiente circostante, essi possono svolgere diversi compiti cruciali per l'efficienza operativa. Uno dei principali impieghi degli AMR è la movimentazione dei materiali. Questi robot possono trasportare componenti e prodotti finiti tra diverse stazioni di lavoro, riducendo il tempo di inattività e migliorando il flusso di lavoro complessivo. Gli AMR sono programmabili per seguire percorsi ottimizzati e possono adattarsi a cambiamenti nell'ambiente, rendendoli particolarmente utili in contesti produttivi dinamici. Oltre alla movimentazione dei materiali, vengono utilizzati per l'inventario e la gestione del magazzino. Dotati di sensori avanzati, possono scansionare e registrare automaticamente le scorte, facilitando un monitoraggio preciso e in tempo reale degli inventari. Questo non solo riduce gli errori umani, ma migliora anche l'efficienza del processo di gestione delle scorte. Gli AMR possono anche essere impiegati in operazioni di assemblaggio, all'interno delle quali possono collaborare con i lavoratori umani per migliorare la produttività e la sicurezza. La loro

capacità di navigare autonomamente e la possibilità di essere equipaggiati con vari strumenti li rendono adatti a supportare attività di assemblaggio complesse e variabili.

Secondo Hendrik Unger et al. (2018), le aree che trarrebbero maggior beneficio dall'implementazione di robot mobili sono:

- Trasporto (Carico e scarico, Picking): questa area riguarda il movimento di materiali da e verso le linee di produzione o i magazzini.
- Manipolazione (Stoccaggio, Movimentazione, Posizionamento, Sostegno, Regolazione): include tutte le attività legate alla gestione fisica degli oggetti e dei materiali all'interno dell'ambiente produttivo.
- Processi di supporto (Marcatura, Pulizia, Ispezione, Copertura): queste attività sono essenziali per la preparazione e il mantenimento delle condizioni ottimali per la produzione, come il controllo qualità e la preparazione dei materiali.

Sempre nello stesso articolo di Hendrik Unger et al. (2018), viene evidenziato come l'applicazione degli AMR nelle fabbriche future non solo migliorerà l'efficienza operativa, ma aprirà anche nuove possibilità di automazione che al momento non sono realizzabili.

Questi casi d'uso dimostrano come gli AMR possano essere integrati in vari contesti produttivi, migliorando la flessibilità e l'efficienza dei processi industriali.



# CAPITOLO 2

## DESCRIZIONE GENERALE DI JO-BOX

L'AMR Jo-Box è un trasportatore di carichi autonomo per utilizzato in applicazioni industriali. Si tratta di un robot mobile collaborativo, compatto ed efficiente, concepito per essere facilmente accessibile dal punto di vista economico. Esso rappresenta il risultato di un attento e accurato processo di progettazione, durante il quale ogni elemento è stato scelto ad hoc per ridurre i costi senza sacrificare la qualità, l'efficienza e l'affidabilità del robot, offrendo così un prodotto che unisce innovazione e convenienza per rispondere alle esigenze di un mercato in continua evoluzione.

Nel presente capitolo viene analizzato il layout del robot e vengono descritti i componenti che gli consentono di essere compatto e sicuro durante il suo funzionamento.

### 2.1 Caratteristiche dimensionali

Le dimensioni di Jo-Box (Fig. 2.1) lo rendono un robot estremamente compatto.

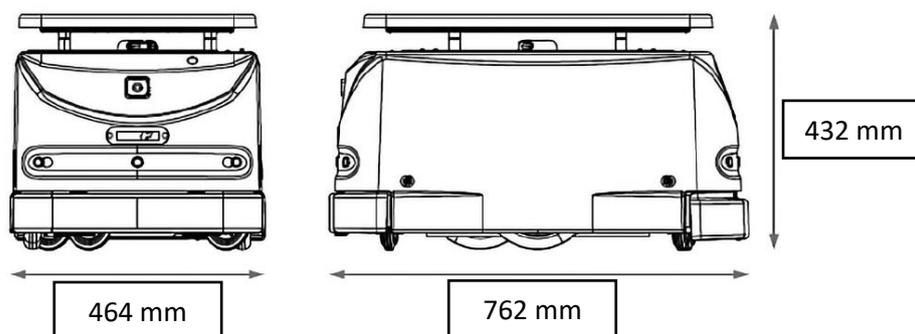


Figura 2.1: Dimensioni Jo-Box

Questa caratteristica offre una serie di vantaggi che possono trasformare radicalmente le operazioni aziendali. In primo luogo, le sue dimensioni gli consentono di navigare agilmente anche in spazi ristretti, ottimizzando l'utilizzo dello spazio disponibile in magazzini, fabbriche e altri ambienti lavorativi. Un AMR compatto è, inoltre, più facile da integrare con i sistemi esistenti rispetto alle controparti più grandi. Può essere facilmente aggiunto ad un ambiente di lavoro senza richiedere modifiche significative all'infrastruttura, riducendo al minimo i tempi di fermo e i costi associati all'implementazione. Per di più, grazie alle dimensioni compatte, può facilmente adattarsi a variazioni nell'ambiente di lavoro. Può modificare il proprio percorso e la propria attività in tempo reale in risposta a cambiamenti

nelle condizioni o negli schemi di lavoro, aumentando così l'efficienza complessiva delle operazioni.

Dal punto di vista della sicurezza poi, essendo che gli AMR compatti occupano meno spazio e possono manovrare con maggiore precisione, si riduce il rischio di collisioni con persone o altri oggetti nell'ambiente di lavoro. Ciò contribuisce a migliorare la sicurezza complessiva.

Il peso totale del robot è di 42 kg ed il carico massimo applicabile nel piano superiore è di circa 50 kg.

## 2.2 Componenti principali

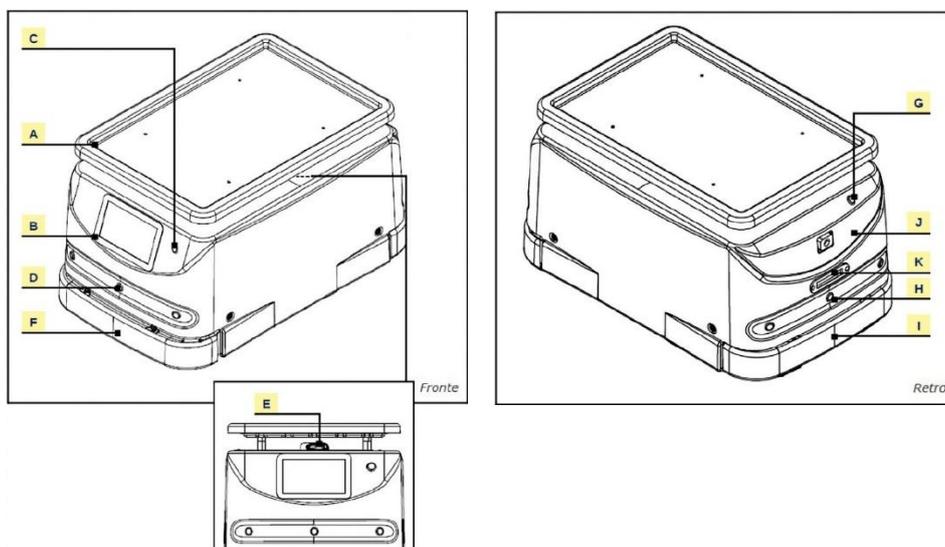


Figura 2.2: Componenti principali

Con riferimento alla Fig. 2.2, vengono elencati di seguito i componenti principali del robot:

- A. Piano di carico
- B. Display touch screen
- C. Pulsante di emergenza
- D. Sensori ad ultrasuoni
- E. Scanner laser
- F. Bumper
- G. Pulsante di emergenza
- H. Sensori ad ultrasuoni
- I. Bumper
- J. Carter

## K. Contatto elettrico per ricarica

La ricarica del robot avviene attraverso la stazione di ricarica riportata in Fig. 2.3. Essa va fissata ad una parete e viene raggiunta dalla macchina nel momento in cui viene assegnata una missione con target “Ricarica”. Ciò può avvenire per scelta di un operatore o in automatico, quando le batterie sono prossime allo scaricamento.

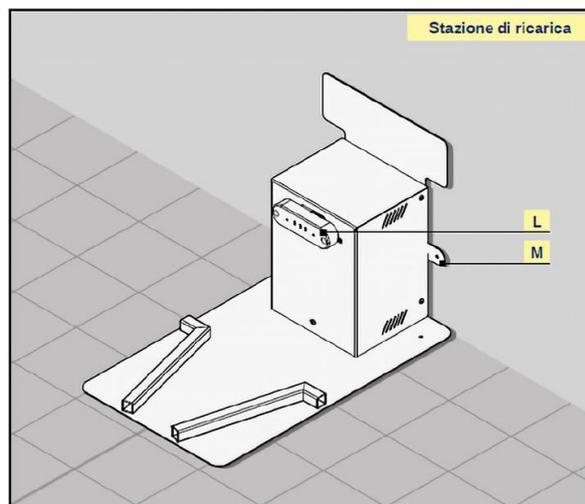


Figura 2.3 Stazione di ricarica

## L. Contatto elettrico per ricarica

## M. Asola per fissaggio alla parete

## 2.2.1 Descrizione componenti

### Piano di carico

Il piano di carico A (Fig. 2.2) funge da “vassoio” sul quale appoggiare il contenitore per il trasporto di materiale. Può essere in ABS o in Alluminio.

### Display touch screen

Il display touch screen B (Fig. 2.2) ha la funzione principale di visualizzare il pulsante “CONTINUA” una volta raggiunto il target programmato la cui selezione rende disponibile l’AMR per la missione successiva. Solo il personale operativo nella zona del target di destinazione dovrebbe rendere disponibile l’AMR per la missione successiva, una volta caricato/scaricato lo stesso. Il display può anche avere funzioni di ausilio. Per ragioni ergonomiche, tuttavia, non dovrebbe essere usato come interfaccia abituale dalla quale impartire ordini alla macchina. Eccetto quindi situazioni di carattere sporadico quali quella sopra descritta, dovrebbe di norma essere utilizzato solamente per premere il pulsante “CONTINUA”.

### Sensori ad ultrasuoni

I sensori ad ultrasuoni D e H (Fig. 2.2) permettono di rilevare gli ostacoli posizionati di fronte alla macchina, ad un’altezza inferiore a 36 cm, dove

agisce invece lo scanner laser, posizionato al di sotto del piano di carico. Essi sono sistemati su due file, sul fronte e sul retro della macchina. Su alcuni modelli sono presenti solo sul fronte del robot, mentre sul retro viene montata una telecamera 3D.

#### Scanner laser

Lo scanner laser E (Fig. 2.2), posizionato direttamente sotto il piano di carico, ha la funzione di scansionare l'ambiente circostante in modo tale da consentire la localizzazione dell'AMR e le sue conseguenti manovre di navigazione, nonché di rilevare ostacoli il cui ingombro interferisca con un piano posto a 36 cm da terra.

#### Carter

Il carter J (Fig. 2.2), in ABS, copre la componentistica interna della macchina, proteggendola dagli agenti esterni.

#### Contatto elettrico per ricarica

Il contatto elettrico per ricarica K (Fig. 2.2) permette di agganciare la macchina alla stazione di ricarica, al fine di ricaricarne le batterie.

#### Telecamera 3D

Alcuni modelli di Jo-Box montano, al posto dei sensori ad ultrasuoni H in Fig. 2.2, una telecamera stereoscopica 3D. Questa telecamera svolge una duplice funzione:

- i. rileva gli ostacoli posizionati di fronte alla macchina, compresi quelli di altezza inferiore a 36 cm (altezza alla quale agisce invece lo scanner laser).
- ii. Incrementa la possibilità di intervenire da remoto per operazioni di assistenza. Questa telecamera, infatti, consente agli operatori umani di monitorare l'ambiente circostante dell'AMR da remoto, consentendo una supervisione costante delle attività del robot senza la necessità di essere fisicamente presenti sul posto.

## **2.3 Dispositivi di sicurezza**

Nel caso di Jo-Box, vengono considerati dispositivi di sicurezza tutti i componenti che riducono al minimo il rischio di potenziale pericolo per cose o persone che interagiscono con il robot.

#### Bumper

I bumper F e I (Fig. 2.2) fungono da paraurti anteriore e posteriore, per proteggere la macchina da eventuali contatti o impatti con altri corpi e/o oggetti. I micro-switch elettromeccanici ad essi collegati arrestano immediatamente la forza propulsiva in caso di pressione.

#### Pulsante di emergenza

Il pulsante di emergenza C, di colore rosso, va utilizzato solo in situazioni di emergenza. Premendolo, si bloccano i motori, senza però spegnere la

macchina. Per riattivarli, è sufficiente ruotare il pulsante in senso antiorario, e la macchina riprenderà autonomamente il funzionamento in corso.

## 2.4 Personalizzazione del piano di carico

Il piano di carico A (Fig. 2.2) di un Jo-Box tradizionale, non è altro che un “vassoio” sul quale poi viene appoggiato il contenitore per il trasporto di materiale. Questo accessorio, tuttavia, è al 100% personalizzabile per garantire ad ogni azienda la possibilità di configurare in modo ottimale gli AMR della flotta.

Si riportano di seguito due esempi di “personalizzazione” del piano di carico che sono stati richiesti dai clienti:

### Cassettiera porta viteria

In questo caso specifico, il cliente desiderava utilizzare Jo-Box tra le linee di assemblaggio, per garantire un rifornimento puntuale di tutta la viteria necessaria per mantenere a regime la produzione. Per soddisfare la richiesta è stata creata ad hoc per il cliente la cassetteria in Fig.2.4



Figura 2.4: Esempio 1 personalizzazione piano di carico

### Vassoio rialzato

La richiesta, in questo caso, era di ottimizzare l'ergonomia e la produttività; per questo si rendeva necessario sollevare il punto di presa del vassoio da parte dell'operatore, riducendo lo sforzo fisico e migliorando l'efficienza nell'esecuzione delle operazioni.



Figura 2.5: Esempio 2 personalizzazione piano di carico



# CAPITOLO 3

## CARATTERISTICHE E FUNZIONAMENTO DI JO-BOX

Nel presente capitolo, esamineremo in dettaglio le caratteristiche ed il funzionamento di Jo-Box, in particolare esploreremo i principi di base di come il robot riesce a percepire e ad interpretare l'ambiente circostante, pianificare percorsi ottimali e navigare in modo sicuro ed efficiente per raggiungere le sue destinazioni.

### 3.1 Localizzazione e navigazione

Per mappare l'ambiente circostante e per la localizzazione e la navigazione, Jo-Box utilizza uno scanner laser rotante montato sotto al piano di carico. Questo scanner laser, noto anche come Lidar (Light Detection and Ranging), emette impulsi laser e misura il tempo impiegato per il loro ritorno dopo che questi sono stati riflessi dagli oggetti circostanti. Utilizzando queste informazioni, il Lidar può generare una mappa dell'ambiente, identificando gli ostacoli, le pareti e altri dettagli significativi.

Come sostiene Bastos et al. (2021), al giorno d'oggi, la maggior parte degli AMR utilizzano questo strumento per rilevare la distanza degli oggetti circostanti e per localizzarsi sulla mappa.

Lo scanner laser montato su Jo-Box ha una gittata di 25 metri ed è in grado di mappare l'ambiente a 360°.

L'utilizzo di uno scanner laser come questo per la mappatura dell'ambiente offre diversi vantaggi:

- **Precisione:** i lidar sono noti per la loro elevata precisione nella misurazione delle distanze, consentendo una mappatura dettagliata e accurata dell'ambiente.
- **Velocità:** gli scanner laser possono rilevare rapidamente gli ostacoli e generare una mappa in tempo reale, consentendo agli AMR di navigare in modo efficiente e reattivo.
- **Indipendenza dalla luce:** a differenza delle telecamere, i Lidar non dipendono dalla luce visibile e possono funzionare bene anche in condizioni di scarsa illuminazione o assenza di luce.

Le informazioni provenienti dallo scanner laser montato su Jo-Box vengono elaborate dall'algoritmo aMCL (Augmented Monte Carlo Localization) per permettere all'AMR di localizzarsi in modo preciso all'interno dell'ambiente. Come riportato da P. Hiemstra et al. (2007), si tratta di un algoritmo di localizzazione che affronta i problemi della localizzazione globale e del "robot kidnapping" in modo altamente robusto ed efficiente. A differenza della semplice Monte Carlo Localization (MCL), che potrebbe non recuperare

da fallimenti di localizzazione globali o eventi di "kidnapping" del robot, l'aMCL introduce meccanismi per risolvere questi problemi.

Il problema della localizzazione globale si verifica quando il robot non conosce la sua posizione iniziale e deve determinare la sua ubicazione nel mondo partendo da zero. L'algoritmo deve quindi gestire ipotesi multiple sulla posizione iniziale del robot e correggere grandi errori in queste ipotesi. Il "robot kidnapping", invece, avviene quando il robot viene spostato in una nuova posizione senza che sia informato di questo cambiamento. In questo scenario, il robot crede di essere in una posizione diversa rispetto alla sua reale collocazione. L'aMCL risolve questi problemi combinando la localizzazione con la costruzione di mappe d'occupazione, che indicano la probabilità che una certa posizione sia occupata da un oggetto. Queste mappe sono utilizzate per la navigazione e migliorano la capacità del robot di correggere errori di localizzazione anche in ambienti con incertezze significative. L'algoritmo aMCL funziona generando e aggiornando una serie di particelle che rappresentano possibili posizioni del robot. Utilizza modelli di movimento probabilistici e modelli di sensori per aggiornare le posizioni delle particelle e i loro pesi, selezionando quindi le particelle con pesi più alti per rappresentare le coordinate del robot. Questa tecnica consente al robot di correggere continuamente la propria stima di posizione anche in presenza di rumore e incertezze nei dati dei sensori.

Il funzionamento dell'aMCL, nel caso di Jo-Box, può essere descritto nei seguenti passaggi:

1. Inizializzazione: l'algoritmo inizia con una distribuzione uniforme di particelle che coprono l'intero spazio di ricerca della posizione del robot.
2. Predizione del moto: le particelle vengono predette in base al modello di moto del robot, tenendo conto delle azioni eseguite e delle possibili incertezze associate al movimento.
3. Aggiornamento dei pesi delle particelle: le particelle vengono pesate in base alla loro coerenza con le osservazioni dello scanner laser rispetto all'ambiente circostante. Le particelle che sono in accordo con le

osservazioni ricevono un peso maggiore, mentre quelle in disaccordo ricevono un peso minore.

4. Ripartizione delle particelle: Le particelle vengono ricampionate in modo proporzionale ai loro pesi aggiornati, dando più importanza alle particelle con pesi più alti.
5. Stima della posizione: La posizione del robot viene stimata sulla base delle particelle con i pesi più alti, fornendo una stima probabilistica della sua posizione corrente.

Questo processo viene iterato continuamente mentre il robot si muove nell'ambiente, consentendo una localizzazione precisa anche in presenza di cambiamenti ambientali e incertezze nei dati dei sensori.

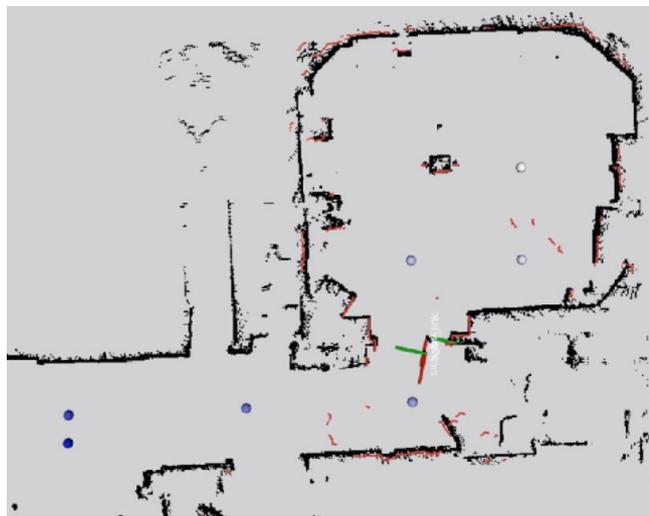


Figura 3.1: Mappatura ambiente tramite scanner laser

Nonostante la sua efficacia, l'aMCL presenta un limite significativo: fornisce una stima probabilistica della posizione del robot all'interno dell'ambiente. Questo significa che l'aMCL non fornisce una posizione esatta del robot, ma piuttosto una distribuzione di probabilità che indica la probabilità che il robot si trovi in determinate posizioni. Questo limite probabilistico può comportare incertezza nella localizzazione. Infatti, poiché l'aMCL fornisce una stima probabilistica della posizione del robot, possono verificarsi salti di localizzazione del dispositivo. Questo può verificarsi con maggiore frequenza in ambienti complessi o dinamici.

In particolare, l'errore medio derivante dalla stima probabilistica è di  $\pm 5\text{cm}$ , ma l'errore massimo è potenzialmente infinito.

Per questo motivo, Jo-Box non utilizza esclusivamente una localizzazione probabilistica, ma la combina con l'odometria. Si tratta di una tecnica utilizzata nella robotica mobile per stimare il movimento di un robot sulla base della misurazione dei suoi attuatori, come le ruote motrici. Partendo da una posizione nota, l'odometria consentirà di calcolare la distanza percorsa e, una volta raggiunta la destinazione, permetterà al robot di localizzarsi

nuovamente (Che-We Chen et al. (2021)). In pratica, l'odometria calcola il cambiamento di posizione del robot nel tempo utilizzando informazioni sul movimento delle ruote, come la velocità e la direzione. Misurando la rotazione delle ruote e conoscendo il loro diametro, è possibile calcolare la distanza percorsa dal robot. Utilizzando i dati sulle velocità delle ruote e la direzione di rotazione, è anche possibile stimare la direzione del movimento del robot.

Per quel che riguarda Jo-Box, esso monta degli encoders sui motori e un'unità di misurazione inerziale sulla scheda elettronica. Partendo da una posizione iniziale, gli encoders sui motori permettono di calcolare lo spostamento effettuato rispetto al punto iniziale. L'IMU (Inertial Measurement Unit), invece, permette al sistema di conoscere la direzione dello spostamento. Questa tecnica, quindi, fornisce uno spostamento incrementale da un punto di inizio, mentre le tecniche precedenti restituiscono una stima probabilistica della localizzazione.

Anche l'odometria ovviamente presenta alcune limitazioni. Ad esempio, è sensibile agli errori, come lo slittamento delle ruote, l'usura dei pneumatici, le irregolarità del terreno e gli attriti. Inoltre, gli errori di misurazione possono accumularsi nel tempo, portando ad una deriva nel calcolo della posizione reale del robot.

In particolare, l'errore iniziale è pari a 0 cm, ma è presente un errore incrementale che tende a crescere nel tempo (effetto deriva).

Nonostante queste limitazioni, l'odometria rimane una tecnica utile per fornire un feedback immediato sul movimento del robot, soprattutto in ambienti controllati e su superfici regolari.

Per sopperire alle incertezze derivanti dal metodo aMCL e dall'odometria, Jo-Box utilizza il sistema DEN (Dynamic Experience Navigation) sviluppato da Eutronica. Si tratta di un sistema di proprietà dell'azienda partner con la quale è stato sviluppato Jo-Box che unisce localizzazione probabilistica ed odometrica sulla base dell'andamento di indicatori che esprimono la confidenza che la localizzazione probabilistica sia buona, predicendo eventuali salti di localizzazione. Questo sistema, quindi, consente di valutare e gestire l'incertezza nei dati e nelle stime del robot, migliorando la sicurezza, l'affidabilità e le prestazioni complessive del sistema di navigazione e controllo.

### **3.1.1 Effetti delle modifiche ambientali**

Sia in fase di mappatura iniziale dell'ambiente che durante la normale navigazione, Jo-Box sfrutta la tecnica SLAM, acronimo di Simultaneous Localization And Mapping. Si tratta di una tecnica ampiamente utilizzata nella robotica e nell'informatica. L'idea di base del SLAM, come sostiene Jie Li et al. (2012), è utilizzare una mappa creata per determinare la

localizzazione del robot mobile, sfruttando contemporaneamente la posizione e l'orientamento del robot mobile per il processo di costruzione della mappa. Pertanto, la localizzazione e la costruzione della mappa vengono effettuate simultaneamente. L'obiettivo del SLAM è permettere al robot di navigare in ambienti sconosciuti o in continua evoluzione, dove non è disponibile una mappa predefinita dell'ambiente.

Il processo di SLAM coinvolge tipicamente due fasi principali:

- 1) **Mappatura:** durante questa fase, il robot esplora l'ambiente utilizzando i suoi sensori per raccogliere dati sull'ambiente circostante. Questi dati vengono elaborati per costruire una mappa dell'ambiente.
- 2) **Localizzazione:** in questa fase, il robot utilizza le informazioni raccolte durante la fase di mappatura insieme ai dati dei sensori correnti per stimare la sua posizione e orientamento all'interno della mappa creata.

Piccole e medie modifiche ambientali non sono influenti, in quanto Jo-Box, durante la navigazione e la localizzazione, continua a confrontare la mappa ottenuta in fase di mappatura con le informazioni che vengono raccolte dai sensori ed è in grado di aggiornare la mappa sulla base di queste. DEN (Dynamic Experience Navigation) è quindi in grado di gestire autonomamente le modifiche non radicali dell'ambiente.

In fase di mappatura iniziale, è in ogni caso consigliato cancellare gli oggetti mobili che non costituiscono riferimenti certi per la localizzazione, per agevolare il funzionamento del robot.

Eventuali modifiche radicali dell'ambiente invece, richiedono una ri-mappatura e una sincronizzazione dei database di Jo-Box con il server. Questa operazione richiede dai 30 minuti a qualche ora in funzione della dimensione del nuovo ambiente da mappare.

### **3.1.2 Modalità di rilevamento ostacoli e re-routing**

Eventuali ostacoli durante la navigazione possono essere rilevati da Jo-Box attraverso: lo scanner laser, gli ultrasuoni e, ove presente, tramite la telecamera 3D.

Nel caso uno di questi 3 sistemi rilevasse un ostacolo, Jo-Box eseguirà, nell'ordine, le seguenti azioni:

- 1) **Rampa di decelerazione, arresto e led rossi lampeggianti:** quando il sistema di percezione del robot rileva un ostacolo lungo il percorso, come un muro, un altro robot o un oggetto in movimento, viene attivata la rampa di decelerazione. Il sistema calcola la distanza necessaria per ridurre la velocità in modo sicuro e evitare collisioni e attua una decelerazione graduale, riducendo la velocità del robot man mano che si avvicina all'ostacolo. Una volta arrivato nei pressi dell'ostacolo, il robot si arresta e attiva i led rossi lampeggianti.

- 2) A questo appunto viene avviato un tempo di attesa (scelto in fase di installazione ma che può essere modificato) per consentire lo spostamento di un eventuale ostacolo mobile.
- 3) Nel caso l'ostacolo non venisse rimosso entro il tempo d'attesa, il robot calcola autonomamente un percorso alternativo possibile per aggirarlo all'interno di uno spazio il più ristretto possibile.
- 4) Una volta calcolato il percorso alternativo, il robot lo esegue. L'esecuzione o la mancata esecuzione di questa manovra dipende da due fattori: dallo spazio disponibile intorno all'ostacolo e dagli spazi di manovra consentiti (vedi par. 3.1.3).

Le azioni 3) e 4), nell'insieme, costituiscono quello che viene chiamato "re-routing", ovvero una deviazione del robot rispetto al percorso standard allo scopo di evitare l'ostacolo e portare comunque a termine la missione.

Un aspetto molto interessante riguarda l'eventuale presenza di un ostacolo nelle immediate vicinanze del punto di destinazione della missione del robot. Nel caso, infatti, i sensori di Jo-Box dovessero rilevare un ostacolo posizionato nel punto di arrivo della missione, risulterebbe impossibile per il robot aggirare l'ostacolo. In situazioni del genere, entrano in funzione i Bumpers fisici. Oltre ad essere utilizzati come dispositivi di sicurezza (vedi par.2.3), essi svolgono una seconda funzione: in presenza di un ostacolo nelle immediate vicinanze della destinazione della missione, il robot si avvicina molto lentamente all'ostacolo tentando di raggiungere l'obiettivo fino a toccare leggermente l'ostacolo con un bumper e, di conseguenza, arrestare la sua corsa. Si tratta di una policy volta ad evitare perdite di tempo in caso un operatore sbadatamente occupi l'area di arrivo del robot.

### **3.1.3 Grafo dei percorsi possibili e spazi di manovra consentiti**

Nonostante Jo-Box sia dotato di capacità autonome che gli consentono di navigare con sicurezza da un punto all'altro, spesso si preferisce definire un percorso specifico per questioni di sicurezza aggiuntiva. Questa pratica deriva dalla necessità di garantire un ambiente operativo sicuro non solo per il robot stesso, ma anche per gli esseri umani e altri elementi presenti nell'area di lavoro.

Definire un percorso predeterminato consente di:

- Evitare rischi imprevisti: anche se l'AMR è progettato per essere autonomo e reagire a ostacoli improvvisi, stabilire un percorso noto riduce il rischio di incidenti causati da imprevisti.
- Ottimizzare la sicurezza: conoscendo il percorso esatto che l'AMR seguirà, è possibile implementare misure di sicurezza specifiche lungo il tragitto, come zone di rallentamento o aree riservate, per garantire la massima sicurezza durante il transito.

- Conformità normativa: in molti ambienti lavorativi, esistono regolamenti e normative che richiedono la definizione di percorsi predeterminati per i robot autonomi al fine di garantire la conformità agli standard di sicurezza e protezione.
- Migliorare l'efficienza operativa: un percorso predeterminato può essere ottimizzato per minimizzare il tempo di transito e massimizzare l'efficienza complessiva delle operazioni, consentendo all'AMR di completare le sue attività in modo più rapido e accurato.



Figura 3.2: Grafo dei percorsi possibili

Prendendo come esempio l'ambiente in Fig.3.2, si possono osservare quelli che vengono chiamati "target point" (gocce viola) e "way point" (cerchietti neri). I primi rappresentano i punti o le stazioni, all'interno di un ambiente, che il robot deve servire. Questi possono essere fissati direttamente in fase di mappatura o durante l'editing della mappa, due argomenti che verranno esaminati nel capitolo successivo. I way point, invece, sono dei punti strategici che vengono definiti in fase di editing della mappa e che il robot dovrà attraversare durante lo spostamento tra un target point ed un altro. Come si può vedere dalla fig. 3.2, questi punti sono collegati tra di loro da dei segmenti azzurri. L'insieme dei punti (way point) e dei segmenti costituiscono il grafo, ovvero un percorso predefinito che il robot si atterrà a seguire durante la navigazione. Si tratta di una scelta conservativa per ambienti industriali con presenza umana che permette, tuttavia, di ottimizzare lo spostamento minimizzando il tempo di transito.

È possibile però autorizzare Jo-Box ad effettuare dei piccoli re-routing per evitare eventuali ostacoli in fase di navigazione, con l'obbligo di rientrare sul grafo il prima possibile. In fase di installazione viene definito lo spazio di manovra massimo consentito al robot, che può essere più o meno ampio a seconda dello spazio disponibile e della volontà dell'azienda.

Definire un percorso specifico per il robot, quindi, non indica una mancanza di fiducia nelle sue capacità autonome, ma piuttosto una pratica precauzionale finalizzata a garantire un ambiente di lavoro sicuro e conforme alle normative vigenti.

## 3.2 Architettura di sistema

Con "Architettura di sistema" si intende la struttura complessiva che definisce come i vari componenti di Jo-Box interagiscono tra loro per consentire al robot di svolgere le sue funzioni e compiti in modo autonomo ed efficiente. Questa architettura è progettata per gestire tutte le operazioni necessarie per la navigazione, la localizzazione, il controllo del movimento, la percezione dell'ambiente, la gestione delle flotte e altre attività specifiche del robot.

La Fig. 3.3 di seguito riportata, mostra quella che è l'architettura di sistema nel caso di Jo-Box.

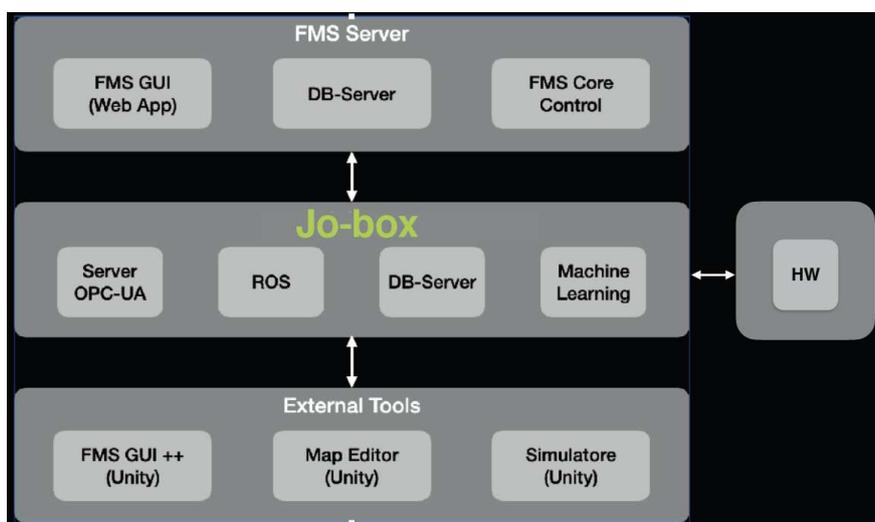


Figura 3.3: Architettura di sistema di Jo-Box

Si possono individuare 4 blocchi principali, uno hardware e tre software:

1. Hardware: comprende tutti i componenti fisici del sistema, ovvero tutti i dispositivi come sensori, attuatori, unità di elaborazione (come computer o microcontrollori) e altri componenti che sono essenziali per garantire il funzionamento del robot.
2. Jo-Box: questo blocco raggruppa tutti i moduli software installati direttamente sul robot essenziali a garantire il corretto funzionamento della componentistica hardware. Questi sistemi software si compongono

di diversi strati e moduli interconnessi, ciascuno con specifiche funzionalità che contribuiscono alla navigazione, al controllo e alla gestione delle attività dell'AMR.

In accordo con Murat Köseoğlu et al. (2017), il ROS (Robot Operating System) è un “middleware” robotico installato su un sistema operativo per controllare sistemi robotici. Bakken et al. definisce il “middleware” come una classe di tecnologie software progettate per aiutare a gestire la complessità e l'eterogeneità intrinseche nei sistemi distribuiti. È definito come uno strato di software sopra il sistema operativo ma sotto il programma applicativo che fornisce un'astrazione comune di programmazione in un sistema distribuito.

3. FMS Server: ad un livello superiore si trova il Fleet Management System Server. Questo sistema è implementato tipicamente come un server centralizzato, il cui compito è coordinare l'intera flotta di AMR all'interno di un ambiente condiviso. Contrariamente al sistema precedente, il Fleet Management System opera a un livello più alto, gestendo la pianificazione dei percorsi, l'assegnazione dei compiti e il monitoraggio delle prestazioni di ogni singolo robot. Facilita la comunicazione e la sincronizzazione tra gli AMR, garantendo un funzionamento coordinato ed efficiente dell'intera flotta.
4. External Tools: Questo blocco comprende un insieme di software esterni e strumenti aggiuntivi che vengono integrati nel sistema AMR per fornire funzionalità extra o migliorare le capacità esistenti. Gli "External Tools" possono includere software di analisi dei dati, sistemi di monitoraggio remoto, interfacce utente avanzate e moduli per l'integrazione con altri sistemi aziendali. L'integrazione di queste risorse esterne consente di ampliare le capacità dell'AMR e di adattarlo alle esigenze specifiche dell'ambiente operativo e dell'applicazione in cui è impiegato.

### **3.2.1 FMS (Fleet Management System)**

Il Fleet Management System è il server che gestisce la movimentazione dei robot mobili appartenenti a una flotta aziendale. La movimentazione viene gestita in percorsi definiti come grafi e, in assenza di imposizioni da parte dell'installatore, il percorso viene calcolato considerando la lunghezza geografica dello stesso, l'occupazione delle tratte, il livello di carica della batteria dell'AMR e altri elementi. Inoltre, il FMS semaforizza la movimentazione dei diversi robot appartenenti alla flotta in base a criteri di priorità, precedenza e ordine di arrivo. Gli aggettivi che meglio descrivono il sistema FMS sono:

1. ACCESSIBILE

Il sistema è provvisto di un “Frontend” (interfaccia utente) di visualizzazione, configurazione e comando flotta web-based accessibile tramite PC, tablet, e smartphone. Combina funzionalità di servizi web-applications e di applicazioni stand-alone.

## 2. INTEGRABILE

Oltre a quella con la flotta AMR, viene garantita un eventuale connettività tra software FMS e altre macchine o sistemi MES (Manufacturing Execution System), ERP (Enterprise Resource Planning) o WMS (Warehouse Management System).

## 3. USER-FRIENDLY

Il sistema comprende l'applicativo Map Editor, software di editing di mappa complementare al sistema di navigazione della flotta AMR. Tramite una semplice interfaccia grafica, Map Editor permette la stesura del layout di mappa, la definizione dinamica dei percorsi di navigazione, l'indicazione di aree particolari e vincoli, l'impostazione dei punti d'interazione degli AMR con macchine e operatori ecc.

## 4. PERSONALIZZABILE

Il Fleet Management System è personalizzabile su misura, per garantire a ogni azienda la possibilità di configurare in maniera ottimale la propria flotta di Autonomous Mobile Robot.

Tra le funzionalità più interessanti invece, troviamo:

1. Gestione di flotte AMR dinamiche e scalabili: gestione di un numero dinamico di elementi della flotta, scalabile in qualsiasi momento.
2. Gestione smart dell'intero ecosistema mobile: semaforizzazione della movimentazione dei diversi AMR in base a criteri di priorità, precedenza e ordine di arrivo.
3. Gestione energetica: monitoraggio continuo dello stato di carica delle batterie di ogni singolo AMR e invio automatico di missioni di ricarica a diversa priorità in base allo stato di carica con scelta smart della base di ricarica disponibile più vicina.
4. Analisi dei dati: Il sistema comprende il Fleet Lookout, ossia l'applicazione di raccolta e analisi dei dati di navigazione e degli esiti delle missioni. Tramite l'interfaccia del Fleet Lookout è possibile ripercorrere ogni singola missione eseguita dai robot mobili della flotta e analizzarne i dati, così da avere una storicizzazione completa delle missioni eseguite e degli allarmi generati dai robot e dal server stesso.

Il Fleet Management System può essere installato su un server preconfigurato, su una VM (Virtual Machine) del cliente o in Edge Computing con architettura 5G.

Come sostiene Emmanuel A. Oyekanlu et al. (2020), l'utilizzo di una rete 5G per il controllo degli Autonomous Mobile Robots (AMR) presenta numerosi vantaggi significativi. In primo luogo, la capacità di supportare alti tassi di trasmissione dati è fondamentale per gestire pacchetti di grandi dimensioni, come i video di realtà virtuale, e pacchetti piccoli, come i dati di velocità e vibrazione degli AMR. La rete

5G permette di trasmettere questi dati in modo efficiente, garantendo un controllo remoto affidabile e una comunicazione robusta tra i vari componenti del sistema. Un altro vantaggio cruciale del 5G è la bassissima latenza, che è essenziale per le applicazioni in tempo reale e per migliorare la reattività dei robot mobili. Inoltre, la rete 5G offre la possibilità di implementare tecniche di softwarizzazione della rete, migliorando la flessibilità e l'agilità operativa. Questo è particolarmente utile per la gestione delle flotte di AMR, permettendo una navigazione ottimizzata e la copertura pervasiva e affidabile. Infine, la tecnologia 5G Mobile Edge Computing (MEC) consente di scaricare le funzioni di elaborazione dati dai processori a bordo degli AMR al MEC, migliorando l'efficienza operativa soprattutto in ambienti di produzione smart.

Nel caso di Jo-Box, oltre ai vantaggi appena descritti, ci sono due benefici fondamentali derivanti dalla scelta di installare il FMS in Edge Computing con architettura 5G (vedi fig. 3.4):

- **Sicurezza IT:** Il tema della sicurezza è un aspetto centrale quando si parla di 5G, sia per le tecniche di rafforzamento della crittografia previste dallo standard, sia per la possibilità offerta dall'architettura stessa di elaborare e gestire un servizio interamente all'interno della rete dell'operatore.
- **Semplicità di installazione:** l'installazione del server Fleet Manager System (FMS) risulta più semplice in quanto vengono superanti eventuali problemi legati alle reti wi-fi. L'FMS, infatti, non si interfaccia con la rete wi-fi aziendale ma si affida interamente alla rete 5G. La rete AMR, quindi, non si sovrappone alle reti wi-fi esistenti.

### **3.3 Alimentazione e durabilità**

L'architettura di Jo-Box è stata appositamente progettata per massimizzare l'efficienza energetica, contenere i costi operativi e garantire una durata prolungata nel tempo. Uno dei principali obiettivi è ridurre al minimo gli assorbimenti energetici, il che si traduce in un consumo di energia significativamente inferiore rispetto ad altre soluzioni. Questo aspetto garantisce anche un'elevata autonomia operativa, consentendo al robot di svolgere le sue funzioni per lunghi periodi senza la necessità di ricariche frequenti. Inoltre, l'attenzione alla riduzione degli assorbimenti contribuisce a prolungare la durata complessiva del robot, riducendo l'usura dei componenti e aumentando la sua affidabilità nel tempo. Questa progettazione oculata di Jo-Box non solo ottimizza le prestazioni operative, ma assicura anche un investimento duraturo e vantaggioso per le aziende che lo impiegano. In aggiunta, la componentistica dell'AMR è progettata per essere facilmente sostituibile, consentendo un rapido intervento di manutenzione e

riparazione in caso di guasti o usura dei componenti e riducendo i tempi di fermo. Tutto ciò contribuisce ulteriormente alla sua durabilità nel tempo.

Per quanto riguarda l'alimentazione di Jo-Box, essa avviene tramite batterie, che possono essere di due tipologie principali, ognuna con caratteristiche e prestazioni specifiche (vedi par. 3.1.1). Per la fase di ricarica delle batterie dell'AMR, viene utilizzata una stazione di ricarica, solitamente attaccata a muro, presso la quale il robot si dirige autonomamente (quando il livello di carica va sotto una certa soglia) o quando gli viene impartita dall'operatore una missione di ricarica.

### **3.3.1 Tipologie di batterie**

In accordo con David McNulty et al. (2022), gli Autonomous Mobile Robots (AMR) possono essere equipaggiati con diverse tipologie di batterie, ognuna con caratteristiche specifiche che ne determinano l'idoneità in base alle esigenze operative. Le principali tipologie di batterie utilizzate negli AMR includono le batterie agli ioni di litio (Li-ion) e le batterie al piombo gel.

Le batterie agli ioni di litio sono ampiamente utilizzate negli AMR grazie alla loro elevata densità energetica, lunga durata e capacità di ricarica rapida. Esse sono inoltre in grado di mantenere una capacità costante anche dopo numerosi cicli di carica e scarica, rendendole ideali per applicazioni che richiedono operatività continua e affidabile. Un esempio di batteria agli ioni di litio comunemente usata negli AMR è quella con catodo in fosfato di ferro e litio (LiFePO<sub>4</sub>), nota per la sua stabilità termica e sicurezza migliorata, oltre a una lunga vita utile con un numero di cicli che può variare tra 500 e 3000.

Le batterie al piombo gel rappresentano una tecnologia più tradizionale rispetto alle batterie Li-ion. Sono caratterizzate da un costo inferiore e una maggiore tolleranza agli abusi meccanici e ambientali. Tuttavia, queste batterie presentano una densità energetica inferiore e tempi di ricarica più lunghi rispetto alle batterie agli ioni di litio, rendendole meno adatte per applicazioni che richiedono cicli di ricarica rapidi e frequenti

Nel caso di Jo-Box, è possibile scegliere tra 2 opzioni principali:

1. 2 batterie Pb/gel ermetiche 12 V e 35 Ah collegate in serie
2. 1 batteria LiFePO<sub>4</sub> 24 V e 54 Ah

Le 2 opzioni offrono vantaggi diversi in termini di prestazioni, durata, costi e altro. Essi vengono riassunti in tabella 3.1 di seguito riportata.

Tab. 3.1: Pro/contro tipologie di batterie

	Pb/gel	LiFePO4
Durata (hp. Duty Cycle 50%)	<b>10 h</b>	<b>36 h</b>
Costo	↓	↑↑↑↑↑↑↑↑↑↑
Durata garantita	<b>6 mesi</b>	<b>12 mesi</b>
Biberonaggio	<b>NO</b>	<b>SI</b>

Come si può vedere dalla tabella 3.1, ipotizzando un duty cycle del 50%, ovvero il robot in movimento per la metà del tempo che sta fuori dalla base di ricarica (approssimazione), le batterie al Pb/gel garantiscono una durata della carica di 10 ore, mentre la batteria al LiFePO4 di 36 ore. La durabilità delle 2 tipologie di batterie inoltre è di gran lunga differente. Mentre una batteria al Pb/gel deve essere sostituita dopo 6 mesi di attività intensa, la batteria al LiFePO4 garantisce una durabilità doppia. D'altro canto, la batteria al LiFePO4 è molto più costosa rispetto a quella al Pb/gel; il prezzo è circa 3 volte maggiore.

Una funzione interessante riguarda il "Biberonaggio". Questo termine si riferisce a un metodo di ricarica automatica delle batterie durante le pause o le fasi di inattività del robot. Durante i periodi di inattività, il robot si sposta autonomamente verso la stazione di ricarica e si collega automaticamente per ricaricare le batterie, permettendogli di rigenerarsi prima di riprendere le operazioni. Questo processo automatico di "biberonaggio" garantisce che l'AMR sia sempre operativo, contribuendo così a mantenere la continuità delle operazioni e ottimizzando l'efficienza complessiva del sistema. Questa opzione è applicabile solamente nei Jo-Box che montano la batteria LiFePO4 e non in quelli con la coppia di batterie al Pb/gel per due motivi principali:

1. Velocità di ricarica: le batterie al litio tendono ad avere tempi di ricarica più brevi rispetto alle batterie al piombo/gel. Ciò significa che il tempo necessario per ricaricare completamente una batteria al litio è generalmente più breve, il che rende più praticabile il processo di "biberonaggio" durante le brevi pause o periodi di inattività.
2. Cicli di vita: le batterie al litio hanno una maggiore durata e un numero maggiore di cicli di ricarica rispetto alle batterie al piombo/gel. Questo significa che possono sopportare un uso più frequente del processo di ricarica, come avviene nel "biberonaggio", senza subire un degrado significativo delle prestazioni nel tempo.

Le batterie al Pb/gel, inoltre, non possono essere scaricate sotto al 50% della loro capacità massima. Quelle al LiFePO4 invece, possono essere scaricate per l'80%. Quest'ultime, infatti, sono dotate di un sistema BMS (Battery Management System). Come spiegato da David McNulty et al. (2022), il sistema di gestione della batteria (BMS) è essenziale per il funzionamento sicuro ed efficiente delle batterie al litio utilizzate nei robot mobili autonomi (AMR). Il BMS monitora vari parametri operativi della batteria, inclusi la tensione delle singole celle, lo stato di carica (SoC), la temperatura e imposta limiti di sicurezza per la corrente e la tensione. Il BMS svolge un ruolo cruciale nel garantire che le celle all'interno del blocco batteria mantengano tensioni e capacità uniformi, prevenendo squilibri che potrebbero portare a problemi di sicurezza come il runaway termico. Si tratta di un fenomeno particolarmente critico e si riferisce a una situazione in cui la batteria dell'AMR entra in una fase di surriscaldamento incontrollato. Questo può avvenire a causa di diversi fattori come, ad esempio, un cortocircuito interno o un danno fisico. Il BMS, inoltre, fornisce informazioni in tempo reale sulle condizioni operative delle singole celle, evitando problemi come il sovraccarico o lo scaricamento eccessivo delle celle al di fuori dell'intervallo di sicurezza definito dal produttore della batteria

Nel caso di Jo-Box, inoltre, è possibile implementare una policy di ricarica per definire delle soglie specifiche relative al processo di ricarica delle batterie. Queste soglie possono essere configurate per ottimizzare l'utilizzo delle risorse e prolungare la durata delle batterie. Esse vengono specificate direttamente nel front-end (interfaccia utente) e sono quattro in totale (vedi fig. 3.4):

- Buona: livello di carica al di sopra del quale Jo-Box è autorizzato ad uscire dalla stazione di ricarica per effettuare una missione.
- Bassa: livello di carica al di sotto del quale Jo-Box è autorizzato a terminare la missione che sta svolgendo con l'ordine di recarsi, al termine della missione, alla stazione di ricarica.
- Critica: livello di carica al di sotto del quale Jo-Box interrompe la missione che sta eseguendo e si reca alla stazione di ricarica.
- Spegnimento: livello critico al di sotto del quale Jo-Box si ferma esattamente nel punto in cui si trova



Figura 3.4: Soglie di ricarica

È buona prassi fissare le soglie di ricarica a un livello più alto rispetto alle soglie di intervento del Battery Management System (BMS). In questo modo il robot ha il tempo di navigare verso la stazione di ricarica e iniziare il processo di ricarica prima che le batterie raggiungano un livello critico secondo il BMS. Questo aiuta a evitare situazioni in cui il robot potrebbe interrompere le sue operazioni prima di raggiungere la stazione di ricarica. Infatti, anche se il BMS è progettato per monitorare e proteggere le batterie da sovraccarichi o scariche eccessive, impostare le soglie di ricarica a un livello superiore aggiunge un ulteriore livello di sicurezza al sistema.

### 3.3.2 Funzione ECO

Jo-Box è dotato di un sistema di risparmio energetico che entra in funzione, attraverso un timer impostabile, quando non sono richieste attività (stato di 'Idle'). Tale modalità sospende alcuni processi energivori, come la riduzione della potenza del motore, la diminuzione della luminosità degli indicatori luminosi, lo spegnimento della telecamera, ma consente alla macchina di riattivarsi autonomamente nel momento in cui vengono assegnate nuove missioni, consentendo uno sfruttamento ottimale della capacità elettrica delle batterie. Questo approccio non solo contribuisce al risparmio energetico, ma garantisce anche una maggiore durata delle batterie. È importante notare che qualsiasi azione sull'AMR, incluse le manovre tramite joystick, determina l'uscita dalla modalità ECO, permettendo al robot di tornare prontamente all'attività normale.

## 3.4 Integrabilità ed interoperabilità

Jo-Box offre un'elevata flessibilità e integrazione grazie alla sua piattaforma aperta, che consente l'interfacciamento con una vasta gamma di applicazioni diverse. Questo sistema può essere facilmente integrato con attuatori ambientali come porte automatiche, ascensori, rulliere e robot cartesiani e antropomorfi, consentendo una gestione completa e sincronizzata delle attività in diversi contesti operativi. Inoltre, Jo-Box offre un piano di carico

personalizzabile, che consente agli utenti di adattare il sistema alle specifiche esigenze di carico e movimentazione dei materiali.

Grazie alla sua interoperabilità con software di livello superiore come MOM (Manufacturing Operations Management), MES (Manufacturing Execution System), ERP (Enterprise Resource Planning) e WMS (Warehouse Management System), Jo-Box può facilmente comunicare e scambiare dati con altri sistemi aziendali, garantendo un flusso efficiente di informazioni e una sincronizzazione ottimale delle attività aziendali.

# CAPITOLO 4

## MODALITÀ DI INSTALLAZIONE

L'installazione di Jo-Box non richiede competenze informatiche o di automazione particolari. L'attività prevede: la scansione dell'ambiente di lavoro, l'elaborazione di una mappa digitale, la definizione dei vincoli del layout e delle regole di movimento, nonché l'identificazione dei punti rilevanti all'interno dell'ambiente che possono fungere da partenze o destinazioni per le missioni. In ambienti di grandi dimensioni, inoltre, l'acquisizione delle mappe può essere eseguita in parallelo da una flotta di robot, garantendo un'installazione efficiente e tempestiva.

### 4.1 Operazioni preliminari

L'architettura del Sistema Jo-Box è basata su un server che ospita i servizi utilizzati dagli utenti e gestisce la flotta di uno o più AMR. Per garantire la comunicazione tra il server e ciascun AMR, è necessaria una rete di comunicazione, che può essere implementata tramite Wi-Fi o rete 5G / 4G+ (disponibile solo nella versione 5GJo-Box). Il server può essere installato su una macchina dedicata, su una macchina virtuale (VM) o su Edge Computing (disponibile solo nella versione 5GJo-Box). Al server viene assegnato un indirizzo IP statico, che viene fornito insieme al foglio informativo all'interno dell'imballo di ciascun Jo-Box. Le operazioni preliminari di installazione sono di solito gestite da personale qualificato di iMilani, in collaborazione con il personale IT autorizzato dell'organizzazione utente.

#### 4.1.1 Installazione e collegamento base di ricarica

La stazione di ricarica va posizionata su un pavimento piano, in modo che sia il più stabile possibile. Va posizionata in maniera tale che la schiena della stazione di ricarica sia addossata ad una parete, alla quale la stazione deve essere vincolata con viti tramite le asole nei lembi di lamiera sui fianchi della stazione (vedi fig. 4.1).

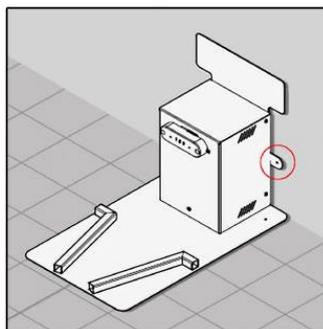


Figura 4.1: Installazione base di ricarica

La stazione di ricarica deve essere installata in luoghi privi di passaggio di persone o mezzi, identificando davanti ad essa una zona di rispetto di raggio almeno 2 metri. Una volta posizionata, la stazione di ricarica va collegata alla rete elettrica (220V) tramite il cavo in dotazione.

## 4.2 Settaggio della macchina

Alla prima accensione, la macchina attiva i processi per il funzionamento. Prima di poterla mettere in azione però, devono essere seguiti i seguenti step per configurare l'AMR:

1. Accendere il Server (tranne che per la versione 5GJo-Box per la quale si può passare direttamente al punto successivo) predisposto nelle operazioni preliminari.
2. Assicursi che il Server sia all'interno della rete wi-fi che si intende utilizzare per la connessione con i singoli Jo-Box (tranne che per 5GJo-Box).

Per accendere Jo-Box occorre agire sui pulsanti posti nella parte superiore, sotto al piano di carico, selezionando prima l'interruttore "MASTER" su ON e premendo quindi il pulsante "start" tenendolo premuto fino a quando il led di destra non diventa di colore verde (vedi Fig. 4.2). Una volta che il led ha cambiato colore, da azzurro lampeggiante a verde, si può rilasciare il pulsante. Nel giro di qualche secondo Jo-Box si accenderà.



Figura 4.2: Led Jo-Box

Una volta completata la procedura di accensione, nel caso di connessione ad una rete Wi-Fi, verrà visualizzata sul display la schermata di Ubuntu; nelle impostazioni occorre selezionare la rete Wi-Fi alla quale connettere il Jo-Box ed eseguire tale connessione per tutti i veicoli componenti la flotta. In caso di necessità di accesso diretto al PC di bordo, è necessario svitare le 4 viti presenti nel piano di carico e successivamente svitare le 6 viti che si troveranno nella copertura di plastica sottostante al vassoio appena smontato. Nel caso di comunicazione tramite rete 5G all'accensione il Jo-Box sarà pronto all'uso.

A questo punto va assegnato al Jo-Box un indirizzo IP congruo alle proprie esigenze. Completata questa operazione si può accedere al Front-end (interfaccia utente) aprendo un qualsiasi browser: è sufficiente digitare l'indirizzo IP del server impostato nelle operazioni preliminari. Dalla dashboard del Front-end, selezionando il menù a tendina laterale e cliccando il campo “Flotta”, è quindi possibile aggiungere l'AMR digitando il suo indirizzo IP. Per consentire l'attività di mappatura, infine, è necessario accedere alle impostazioni della macchina e attivare la possibilità di mappatura (vedi Fig. 4.3).



Figura 4.3: Attivazione mappatura tramite il Front-end

## 4.3 Mappatura

Per eseguire l'attività di mappatura, è necessario innanzitutto installare il programma Map editor, un software esterno noto per la sua intuitività e facilità d'uso. Una volta installato, va creata la connessione tra il Map editor ed il server FMS. Per fare ciò è sufficiente inserire l'indirizzo IP del server nella sezione “Server Settings” all'interno della pagina di “settings” del software (vedi Fig.4.4).

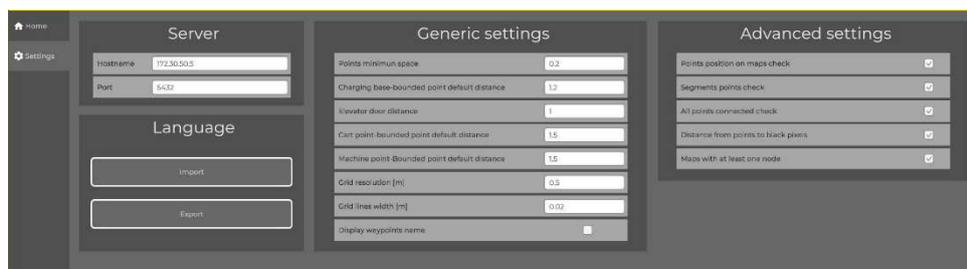


Figura 4.4: Connessione tra Map editor e server

Nella sezione “Generic Settings” inoltre, è possibile decidere la distanza tra la ricarica e il nodo da cui parte il Jo-Box per effettuare la manovra di attracco (solitamente varia tra 1.2-1.5 m), e la distanza tra la porta d'ingresso di un ascensore ed il punto davanti alle porte per gestire al meglio gli spazi a seconda delle esigenze dell'ambiente di installazione. Entrambe le distanze possono poi essere modificate singolarmente durante l'editing della mappa.

Per l'attività di mappatura vera e propria, deve essere utilizzato un joystick che viene fornito in dotazione. La connessione bluetooth del Joystick con il

PC va effettuata collegandosi da remoto al PC di bordo del Jo-Box. Come infatti già anticipato, il display touch screen posto sul retro di Jo-Box, per ragioni ergonomiche, non dovrebbe essere usato come interfaccia abituale dalla quale impartire ordini alla macchina. Eccetto situazioni di carattere sporadico, dovrebbe di norma essere utilizzato solamente per visualizzare e premere il pulsante “Continua”.

Per la connessione da remoto, è possibile utilizzare un qualsiasi terminale remoto (VNC, Teamviewer). Una volta stabilita la connessione con il pc di bordo, è necessario aprire un terminale e digitare il comando “roslaunch Jobot\_driver Jobot\_mapping.launch”.

Immediatamente apparirà la schermata di RVIZ (Fig 4.5), un software che consente all'utente di monitorare in tempo reale i dati acquisiti dalla telecamera 3D e dallo scanner laser.

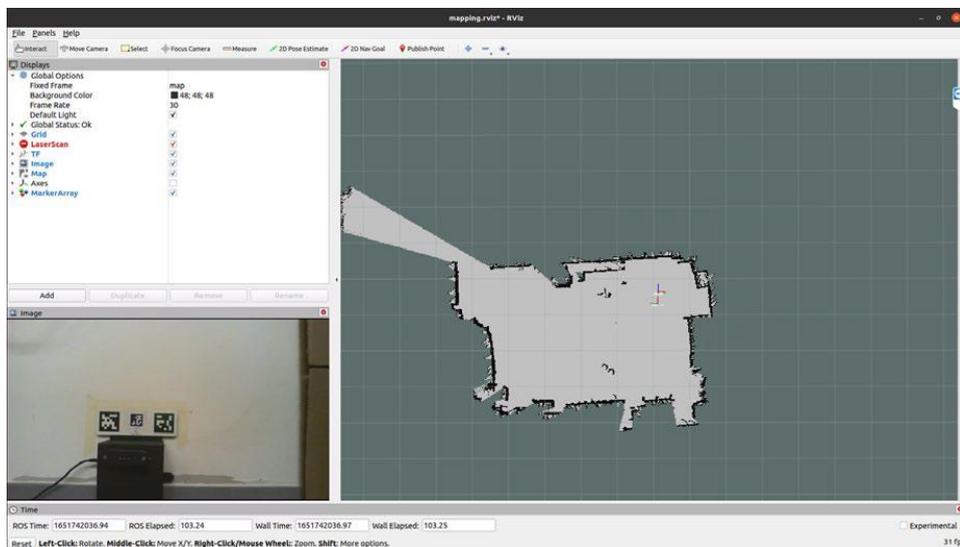


Figura 4.5: Schermata RViz

Prima di iniziare la mappatura occorre definire il numero di mappe e la loro copertura dell'ambiente nel quale si intende eseguire l'installazione. In ambienti di dimensioni superiori a  $100\text{ m}^2$  infatti, è opportuno suddividere la scansione ambientale in più mappe fra di loro interconnesse con aree di sovrapposizione di circa  $2\text{ [m]}$  (secondo le esigenze). Va acquisita una mappa alla volta avendo cura di partire, per ciascuna di esse, con il Jo-Box orientato orizzontalmente o verticalmente (non in obliquo) rispetto agli assi cartesiani X, Y della mappa complessiva che costituirà il layer di riferimento per la navigazione. Quindi per tutte le successive mappe che si creeranno va mantenuto il medesimo orientamento della posizione iniziale del Jo-Box.

Per dirigere gli spostamenti della macchina occorre usare le levette analogiche del joystick: quella di sinistra, per ruotare a destra e sinistra l'AMR, e quella di destra per far avanzare o indietreggiare la macchina. Per arrestare la progressione dell'AMR invece, va premuto il pulsante R2. In

questa fase, per ottenere la migliore qualità possibile della mappatura, è consigliabile evitare di far compiere all'AMR manovre complesse di roto-traslazione. In altri termini, è preferibile spezzare il percorso di mappatura in tratti di linea retta (traslazione) e di rotazione (senza contemporanea traslazione). Durante la marcia è possibile vedere nella griglia presente sul display del Jo-Box l'avanzamento della scansione e l'immagine che si sta sviluppando (quadrante di destra in Fig.4.5). I puntini neri rappresentano gli ostacoli fissi individuati dal robot tramite lo scanner laser, mentre l'area grigia denota la regione esplorata dal fascio laser in cui non sono stati rilevati ostacoli. Il sistema di riferimento visualizzato sul display, composto da una freccia blu e una freccia rossa ortogonali, rappresenta la posizione e l'orientamento del Jo-Box in tempo reale. Durante gli spostamenti, si possono salvare, tramite il joystick, dei punti notevoli:

- tasto A: punto di attracco (target point)
- tasto B: punto di cambio mappa
- tasto X: stazione di ricarica

Per mappare la stazione di ricarica, in particolare, occorre marcare i tag posti nella parte superiore della base stessa: per eseguire tale operazione con la necessaria precisione è opportuno posizionarsi con le ruote anteriori piroettanti allineate con l'inizio della piastra nera metallica, e con la macchina perpendicolare rispetto ai tag. Occorre avvicinarsi il più possibile fino a che i tag rimangono visibili entrambi all'interno della visuale della webcam, quindi premendo il tasto X del joystick, viene salvata la posizione e l'ID dei tag.

Per quanto riguarda invece la memorizzazione di un punto d'attracco, è necessario premere il pulsante A per inserire il punto nella mappa, tenendo presente che la sua posizione (X,Y) ed il suo orientamento (YAW) saranno quelli che l'AMR ha durante tale memorizzazione (modificabile successivamente tramite editor).

Una volta terminata la mappatura, la mappa va salvata. Per fare questo è necessario aprire un nuovo terminale e digitare il comando “roslaunch Jobot\_driver Jobot\_core.launch”

Creata la mappa, è necessario caricarla nel Map Editor ed editarla creando i vari percorsi secondo i propri interessi e bisogni (vedi. Par. 4.4).

In condizioni normali, il processo di mappatura va eseguito solo al primo utilizzo o nel caso in cui l'ambiente abbia subito significative variazioni rispetto alla precedente mappatura.

## 4.4 Editing della mappa

Per la fase di editing della mappa, viene utilizzato l'applicativo Map Editor. Gli output dell'applicativo sono:

- la rappresentazione 2d in formato .pgm della mappa fisica, ottenuta facendo il merge (combinazione) delle diverse mappe generate dal robot durante la scansione dell'ambiente;
- la definizione di ostacoli e vincoli (oggetti virtuali, es. zone proibite, passaggi non utilizzabili, zone da percorrere a velocità limitata);
- la definizione del/dei punto/i di ricarica e delle posizioni dei punti di attracco (punti nodali);
- la definizione dei percorsi possibili;
- la definizione di nodi e nodi di ancoraggio per collegare tra di loro le mappe;
- l'inserimento di punti notevoli quali porte e/o ascensori.

Le principali azioni di editing sono:

- “pulizia” della mappa da punti isolati che l'hanno “sporcata” e che, se non rimossi, potrebbero essere interpretati come ostacoli dall'AMR (utilizzare lo strumento gomma).
- completamento e aggiunta (se necessario, ma sconsigliato in quanto è più precisa la procedura di salvataggio dei punti tramite Joystick di cui al punto precedente) dei punti di attracco e delle posizioni delle stazioni di ricarica.
- collegamento tra loro, tramite linee, dei punti di attracco, per identificare i percorsi che l'AMR può seguire durante le missioni.
- assegnazione di regole di navigazione: delimitazione di zone off-limits, limiti di velocità, stop, precedenza, sensi unici da fare rispettare alla macchina.

Terminato l'editing della mappa si dovrà quindi procedere alla sincronizzazione tra server e AMR al fine di completare la procedura di installazione.

Come anticipato, per eseguire l'editing della mappa è necessario aprire l'applicazione del Map Editor che si presenterà con la schermata in fig. 4.6:

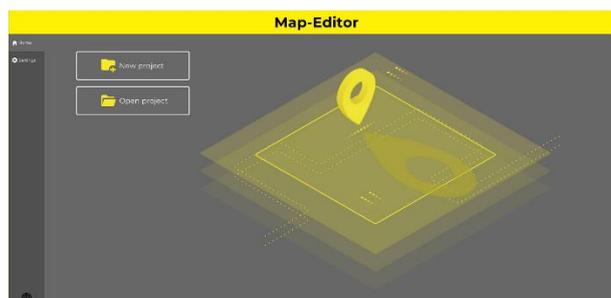


Figura 4.6: Schermata iniziale Map Editor

È quindi possibile aprire un nuovo progetto e rinominarlo a proprio piacimento.

Per caricare una mappa precedentemente creata con il Jo-Box occorre premere il pulsante “Show remote scans” (pulsante in alto a destra, vedi fig. 4.7) e fare il download della mappa desiderata. Il nome del file corrisponde alla data ed ora in cui è stata scannerizzata l’area.

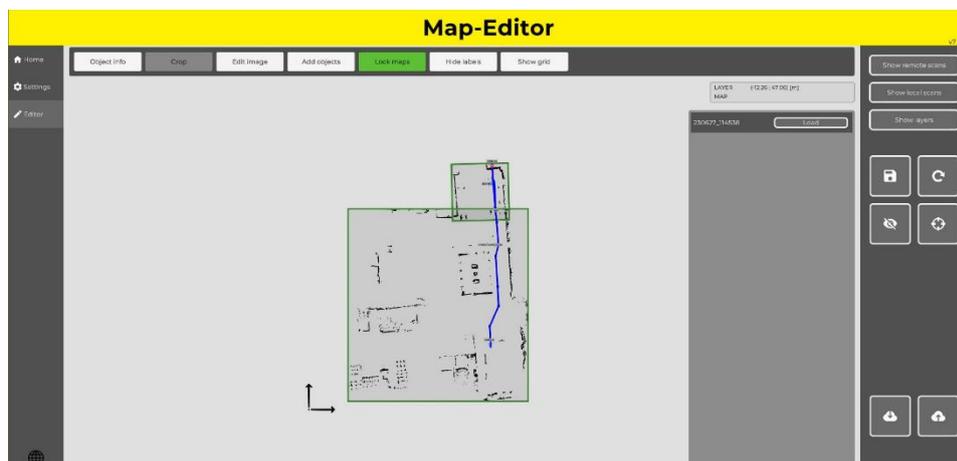


Figura 4.7: Caricamento della mappa

Attraverso il pulsante “Show local scans” è possibile a questo punto fare il load della mappa nell’editor (vedi fig. 4.7).

Una volta caricata la mappa, gli strumenti di editing che si possono utilizzare sono:

1. *Crop*: per ritagliare la mappa togliendo le zone vuote ai bordi (operazione opportuna al fine di alleggerire i calcoli e ridurre i consumi)
2. *Image Edit*: per ripulire la mappa da possibili letture di punti non reali dovuti a riflessi di luce rilevati dal laser e da punti di oggetti mobili (quali sedie, carrelli, ecc. che non costituiranno riferimenti fissi per gli algoritmi di localizzazione dell’AMR). Gli strumenti “gomma” / “penna” da utilizzare possiedono un cursore di regolazione della dimensione.
3. *Lock maps*: utilizzando questa opzione, una volta collegate o sovrapposte le varie mappe o posizionati una serie di oggetti su di una mappa, è possibile bloccarla/e ed evitare con movimenti fortuiti del cursore di spostarle oppure cancellarle. Infatti, quando il tasto sarà attivo (colore verde) verranno bloccate la movimentazione e la cancellazione delle mappe.
4. *Object Adder*: per inserire i vari oggetti che serviranno per la creazione dei percorsi e delle regole di navigazione sulla mappa.
  - a) Segment: crea la linea per congiungere i vari oggetti presenti nella mappa.

- b) Door: da utilizzare in presenza di ingressi o uscite in cui l'AMR deve attraversare porte o spazi stretti. Esso creerà due nodi e una porta virtuale attraverso i quali Jo-Box sarà costretto a passare. Questo faciliterà il passaggio attraverso aree strette.
  - c) LimitedSpeedArea: possibilità di creare un'area dove il Jo-Box manterrà una velocità pre-impostata minore a quella usuale di marcia. Da utilizzare in zone in cui si presenta un rischio maggiore di navigazione dovuto a grosso traffico di persone o macchinari.
  - d) InterdictedArea: area in cui non si vuol far navigare il Jo-Box.
  - e) TargetPoint: punto di attracco, da inserire dove si vuol far giungere la macchina per caricare/scaricare il materiale. Il Jo-Box indirizzerà il muso verso la parte arrotondata dell'oggetto mentre il retro verso la punta.
  - f) ChargingBase: punto di ricarica; è consigliato il suo inserimento durante la mappatura per avere maggiore precisione e quindi evitare l'imprecisione manuale nel posizionarla.
  - g) WayPoint: punti di passaggio, chiamati anche nodi e sono i riferimenti lungo il percorso che devono essere attraversati in un certo percorso.
  - h) AnchorNode: nodo di ancoraggio che viene utilizzato per collegare fra loro due mappe. Deve essere inserito nella sovrapposizione dei due lembi delle mappe affinché, durante la navigazione, possa essere eseguito il cambio mappa una volta raggiunto il nodo stesso.
  - i) NoSecurityDistanceArea: area senza distanza di sicurezza all'interno della quale il Jo-Box non rileva ostacoli.
  - j) Elevator: l'oggetto ascensore crea un collegamento tra più piani su cui movimentare la macchina.
5. **Object Info**: Cliccando sui vari oggetti inseriti si ottengono le informazioni necessarie riguardo a nome, Id, Posizione x, y e yaw (angolo), layer (in caso di più piani), precisione con cui il Jo-Box si ferma o passa su quel determinato punto e tolerance (coefficiente di tolleranza ammessa sulla precisione richiesta).

I principali campi sui quali è possibile intervenire sono:

- **Name**: per assegnare un nome all'oggetto inserito nella mappa;
- **Layer**: per decidere il piano corrispondente alla mappa o all'oggetto;
- **Rotation**: per decidere la rotazione in gradi dei vari oggetti o mappe;
- **Precision**: per decidere la precisione con la quale il Jo-Box passa sopra i vari nodi presenti nel percorso;

NOTA: precisioni troppo elevate generalmente costringono l'AMR ad effettuare più manovre di ricerca della precisione richiesta, rallentandone il funzionamento. Occorre quindi scegliere precisioni adeguate alle esigenze effettive.

- Connected elevators: in questo campo va inserito l'Id dell'ascensore collegato e se sono presenti più ascensori occorre dividerli con un “;”
  - Elevator distance: distanza alla quale si posiziona il nodo di fermata in ingresso all'ascensore (punto dal quale l'ascensore viene chiamato dell'AMR)
6. Upload: questo tasto va premuto solo dopo aver eseguito il save e aver visto che non sono presenti errori. Dopo aver completato l'editing della vostra mappa questo tasto permette di caricare i nuovi dati sul Frontend e sul/i Jo-Box presenti nel sistema.
  7. Download: Tramite questo pulsante si ha la possibilità di scaricare in ogni momento nel proprio Map Editor la mappa attuale caricata sul Jo-Box. È designato per il recupero mappe.
  8. Show remote scan: per fare il download delle mappe eseguite dal Jobox.
  9. Show Local Scan: Dopo aver eseguito il download da Show remote scan è necessario caricare tramite il load la mappa all'interno dell'applicazione per poter eseguire le modifiche desiderate.
  10. Show layers: permette di vedere i diversi layer creati. Se nella mappa sono presenti più piani è possibile visualizzarli singolarmente.
  11. Save: Premere questo pulsante alla fine del lavoro per salvare gli aggiornamenti eseguiti
  12. Load: Premendo questo bottone apparirà nel map editor la mappa salvata in locale.
  13. Unload: Per eliminare il caricamento di una mappa.
  14. Hide: Per nascondere la visibilità di una mappa.

Gli strumenti di editing della mappa appena illustrati sono dotati di un'interfaccia estremamente intuitiva. Questo permette a chiunque, anche senza una formazione specifica, di essere in grado di utilizzarli con facilità.

Si riporta di seguito (Fig. 4.8) un esempio di utilizzo di alcuni strumenti descritti:

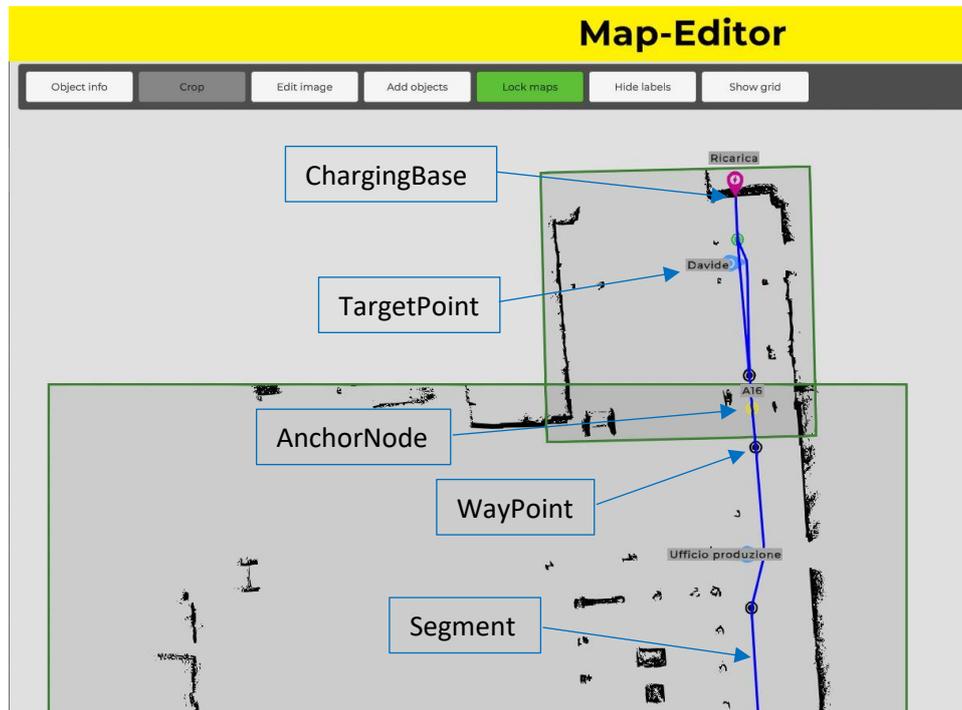


Figura 4.8: Esempio utilizzo strumenti Map Editor

## 4.5 Installazione di una flotta

L'installazione di una flotta di Autonomous Mobile Robots (AMR) è un processo complesso che generalmente richiede una pianificazione accurata e una serie di passaggi specifici per garantire il successo dell'operazione. Un aspetto particolarmente cruciale nell'implementazione di una flotta, per garantire una navigazione sicura ed efficiente all'interno dell'area operativa, è quello riguardante la semaforizzazione. Essa si riferisce alla creazione e gestione di segnali di controllo del traffico che regolano il movimento dei robot in aree condivise o ad alta densità di traffico. Questi segnali aiutano a prevenire collisioni e congestioni, assicurando che i robot possano operare in modo sicuro ed efficiente. Si tratta di segnali virtuali che vengono implementati direttamente nel software di gestione della flotta. I robot ricevono informazioni su quando fermarsi, procedere o dare la precedenza agli altri robot attraverso il loro sistema di navigazione. All'interno del software vengono inoltre configurate le priorità e le regole di precedenza, le quali determinano quale robot deve fermarsi e quale può procedere in situazioni di potenziale conflitto.

Per l'installazione di una flotta di AMR destinata a operare in un ambiente lavorativo con diverse postazioni da servire, è fondamentale definire l'approccio che si intende adottare per gestire questa situazione. Si possono individuare in particolare 3 possibili approcci:

1. Assegnazione fissa
2. Assegnazione dinamica
3. Gestione ibrida

Con assegnazione fissa, si intende che ogni robot viene programmato per servire solo specifiche stazioni. Questo approccio ha 2 vantaggi principali: la semplicità di gestione e la prevedibilità. Ogni robot, infatti, è più facile da configurare e monitorare, poiché ognuno di essi ha un compito ben definito. Inoltre, risulta possibile effettuare una pianificazione più prevedibile del flusso di lavoro. Di contro, se un robot assegnato a specifiche stazioni si guasta, le stazioni rimangono inattive finché il robot non viene riparato o sostituito e i robot potrebbero non essere utilizzati in modo ottimale, soprattutto se la domanda varia tra le stazioni.

Con assegnazione dinamica invece, si fa riferimento ad una situazione in cui tutti i robot possono servire tutte le stazioni. Gli AMR vengono assegnati alle stazioni in base alla domanda corrente e alla disponibilità. I vantaggi principali risiedono nella capacità di adattarsi rapidamente ai cambiamenti della domanda e di redistribuire i robot in base alle necessità e nel massimizzare l'utilizzo dei robot, riducendo i tempi di inattività. Tuttavia, questo approccio richiede un sistema di gestione della flotta sofisticato per monitorare e assegnare i robot in tempo reale e comporta una maggiore possibilità di conflitti o congestioni se non gestito correttamente.

La terza ed ultima opzione è la combinazione dei due approcci precedenti, dove alcuni robot sono assegnati a specifiche stazioni e altri possono muoversi liberamente per servire qualsiasi stazione. In questo modo viene combinata la prevedibilità dell'assegnazione fissa con la flessibilità dell'assegnazione dinamica, e se un robot fisso si guasta, i robot dinamici possono intervenire per mantenere operativa la linea produttiva. Questo approccio però richiede una gestione attenta per bilanciare i due tipi di assegnazione.

Per quanto riguarda il sistema di Fleet Management System (FMS) utilizzato nel caso di "Jo-Box" descritto al paragrafo 3.2.1, esso consente di operare con entrambe le modalità di assegnazione, sia fissa che dinamica, offrendo una flessibilità ottimale nella gestione delle postazioni da servire.

#### **4.5.1 Dimensionamento flotta**

Il dimensionamento accurato di una flotta di Autonomous Mobile Robots (AMR) rappresenta un elemento cruciale per ottimizzare l'efficienza operativa e minimizzare i costi nelle applicazioni industriali e logistiche moderne. Come sostiene Russell Keith et al. (2024), è fondamentale stabilire il numero ottimale di Autonomous Mobile Robots (AMR) da impiegare a terra su un magazzino per garantire tempi di consegna uniformi. Le aree ad alta domanda possono diventare

un punto critico se sono sovraffollate di robot o personale, compromettendo così la fluidità delle operazioni.

Secondo Choobineh F. et al. (2011), in letteratura il problema del dimensionamento di una flotta di AMR può essere risolto mediante: teoria delle code, la programmazione lineare e intera, o attraverso la simulazione ad eventi discreti e continui.

La teoria delle code viene utilizzata per analizzare e ottimizzare il flusso di lavoro all'interno di ambienti produttivi, considerando i tempi di servizio dei punti di carico, le distanze di trasporto e le capacità dei veicoli. Questo approccio matematico aiuta a determinare il numero ottimale di AMR necessari per gestire efficacemente la domanda di trasporto.

D'altra parte, la programmazione lineare e intera offre un metodo strutturato per formulare modelli decisionali complessi relativi alla configurazione della flotta di AMR. Questo approccio considera vincoli come i costi operativi, le capacità dei veicoli e le restrizioni di spazio nell'ambiente di lavoro, fornendo una soluzione ottimale che minimizza i costi o massimizza l'efficienza operativa della flotta.

Infine, la simulazione ad eventi discreti e continui si distingue per la sua capacità di modellare dinamicamente il comportamento degli AMR in risposta a variabili dinamiche come i flussi di lavoro, le congestioni e le strategie operative. Questo approccio computazionale consente di valutare diverse configurazioni di flotta in scenari simulati, facilitando decisioni informate e migliorando la pianificazione strategica delle operazioni logistiche.

Fino ad oggi, Jo-Box ha visto l'installazione esclusivamente di flotte di dimensioni ridotte. Pertanto, per il dimensionamento della flotta, non si è adottato uno dei tre metodi descritti in precedenza, ma si è preferito utilizzare un approccio semplice e altrettanto efficace che verrà spiegato di seguito.

Si inizia creando una matrice dei flussi (FROM/TO) che identifica tutte le destinazioni e i percorsi che i robot devono attraversare all'interno dell'ambiente operativo. Questa matrice permette di comprendere in dettaglio i movimenti dei robot e di pianificare efficacemente le rotte ottimali per minimizzare i tempi di spostamento e di attesa.

Successivamente, vengono studiati i percorsi specifici che i robot devono seguire, calcolando la distanza totale che devono coprire durante una giornata lavorativa. Conoscendo la velocità media dei robot è possibile calcolare il tempo necessario per completare i percorsi.

Viene applicato quindi un duty cycle del 50%, il quale rappresenta un fattore di sicurezza per garantire la robustezza del piano operativo. Questo significa che durante il periodo operativo, il robot è in missione (cioè in movimento) per il 50% del tempo totale. Il restante 50% del

tempo è dedicato al fermo, durante il quale il robot è fuori dalla base di ricarica ma pronto ad aspettare nuove missioni. È importante sottolineare che il tempo di fermo non include i tempi di ricarica delle batterie, i quali avvengono principalmente durante le ore notturne, con un periodo di circa 6 ore dedicato alla ricarica completa. Per le aziende che operano 24 ore su 24, il tempo di ricarica può essere distribuito in fasi di circa 2 ore alla fine di ciascuno dei 3 turni di lavoro giornalieri.

Questo approccio integrato di creazione della matrice dei flussi, calcolo del tempo di percorrenza e applicazione del duty cycle consente di pianificare adeguatamente le risorse e di ottimizzare l'efficienza operativa dei robot, assicurando che siano in grado di gestire i carichi di lavoro previsti senza problemi. Un esempio dell'applicazione di questo approccio è stato riportato al par. 4.6.

È, inoltre, in corso un'attività di ricerca volta a definire un metodo più robusto per il dimensionamento delle flotte, in grado di gestire flotte di qualsiasi dimensione con maggiore efficienza.

## **4.5.2 Esempio di dimensionamento per un cliente**

In questo sottocapitolo verrà illustrato il processo di implementazione di Jo-Box prendendo come esempio una reale installazione avvenuta presso un cliente. Ci si concentrerà in particolare sulle fasi che portano alla determinazione del numero di AMR necessari per soddisfare le specifiche esigenze operative del cliente. Partendo dalle necessità espresse dal cliente, verrà esaminato come queste vengono tradotte in requisiti funzionali, passando per la raccolta e l'analisi dei dati operativi fino ad arrivare al calcolo del numero ottimale di AMR. L'obiettivo è fornire una visione dettagliata delle attività svolte per garantire che il numero di AMR implementati sia sufficiente a coprire efficacemente il carico di lavoro richiesto, ottimizzando al contempo l'efficienza operativa.

### **1. Specifiche del cliente**

Jo-Box avrà il compito di realizzare una missione per ogni turno per portare alle linee di produzione il fabbisogno di consumabili del turno successivo. Ogni giornata è suddivisa in 3 turni da 8 ore ciascuno: dalle 06:00 alle 14:00, dalle 14:00 alle 22:00 e dalle 22:00 alle 06:00. L'addetto di magazzino sarà responsabile del caricamento del Jo-Box e dell'invio delle missioni verso le varie linee di produzione, una alla volta e ad un orario prefissato. Ad esempio, se il giorno uno la linea LP1 viene servita alle 07:00, alle 15:00 e alle 23:00, questi orari saranno mantenuti anche nei giorni successivi. La scelta di effettuare missioni singole è motivata dalla necessità di evitare che i consumabili destinati ad una linea finiscano su un'altra linea, prevenendo così possibili errori. Una

volta arrivato nei pressi della linea, il Jo-Box si fermerà e l'addetto del turno scaricherà la cassetta piena per il turno successivo, sostituendola con quella vuota del turno precedente. Successivamente, l'addetto darà il consenso per la fine della missione, permettendo al Jo-Box di tornare al magazzino per prepararsi alla missione successiva. Inoltre, l'altezza del piano di carico del Jo-Box dovrà essere di 80 cm dal pavimento. Il cliente ha espresso una preferenza per l'utilizzo di box con sportelli, che permettano di inserire all'interno sonde o altri strumenti, migliorando così la versatilità e la funzionalità del sistema.

2. Elenco delle linee da servire e layout

In tab 4.1 è riportato l'elenco delle linee che l'AMR deve essere in grado raggiungere:

Tabella 4.1: Elenco linee produttive

<i>Nome linea</i>	<i>Dettagli</i>
RICARICA	Stazione di ricarica
MAGAZZINO	Magazzino: punto di partenza di tutte le missioni
LP1	Linea produttiva 1
LP2	Linea produttiva 2
LP3	Linea produttiva 3
LP4	Linea produttiva 4
LP7	Linea produttiva 7
LP8	Linea produttiva 8
LP9	Linea produttiva 9
LP10	Linea produttiva 10
LP12	Linea produttiva 12
LP14	Linea produttiva 14

In fig. 4.9 viene riportato il layout dell'area in cui l'AMR dovrà operare con indicate, tramite i pallini blu, le varie linee.

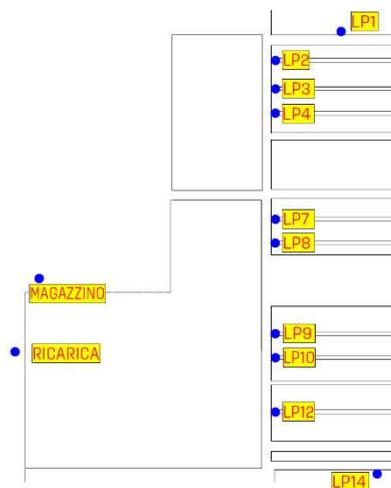


Figura 4.9: Layout delle linee

### 3. Definizione del percorso

A questo punto, è cruciale determinare il percorso ottimale che soddisfi appieno i requisiti del cliente. Come delineato nel paragrafo dedicato alle specifiche del cliente, l'AMR deve essere in grado di raggiungere tutte le linee elencate nella Tab. 4.1, partendo sempre dalla stazione MAGAZZINO. Attraverso un'analisi dettagliata del layout e in seguito ad una consultazione approfondita con il cliente, è stato definito il percorso ottimale, evidenziato in verde nella Fig. 4.10.

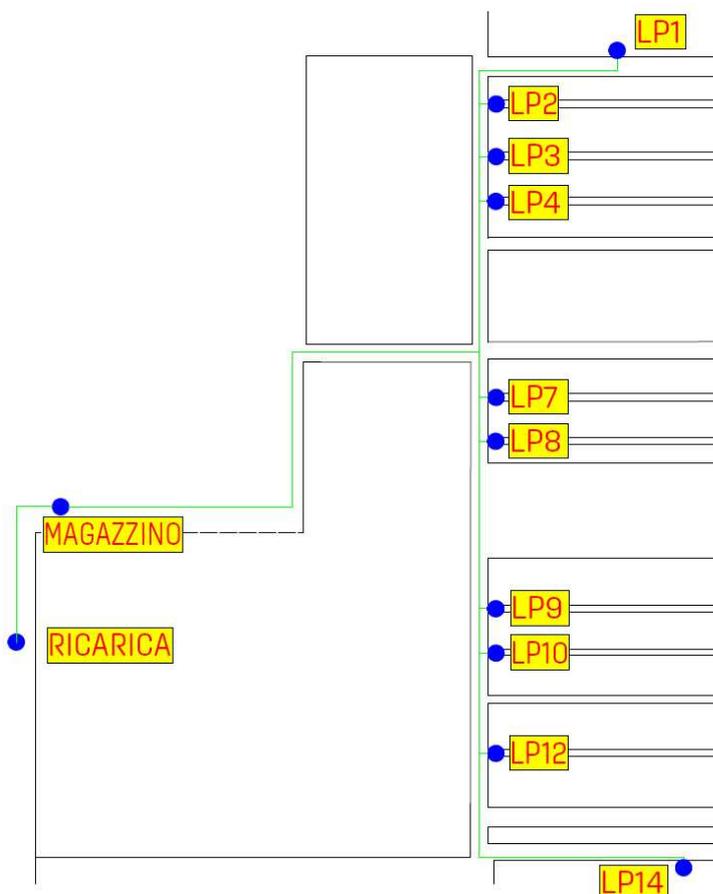


Figura 4.10: Definizione del percorso

Nella definizione del percorso, sono stati considerati due fattori fondamentali:

- a. Distanza
- b. Sicurezza del personale

Oltre alla selezione del percorso più breve è stato privilegiato, ove possibile, il tragitto con la minore densità di operatori, al fine di garantire una maggiore sicurezza per il personale.

Partendo dal layout (in formato dwg) fornito dal cliente e dal percorso che è stato identificato, è possibile a questo punto calcolare le distanze che dovrà ricoprire il robot (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Distanza FROM/TO

<i>FROM</i>	<i>TO</i>	<i>Distanza (m)</i>	<i>Tempo (s)</i>
RICARICA	MAG	25	83,3
MAG	LP1	160	533,3
MAG	LP2	130	433,3
MAG	LP3	120,5	401,7
MAG	LP4	112,35	374,5
MAG	LP7	92,80	309,3
MAG	LP8	100,85	336,2
MAG	LP9	130	433,3
MAG	LP10	139,8	466,0
MAG	LP12	160	533,3
MAG	LP14	210,9	703,0

Per quanto riguarda la stima dei tempi, è stato utilizzato come dato una velocità media pari a:

$$v_m = 0,3 \frac{m}{s}$$

La velocità massima che l'AMR può raggiungere è in realtà pari a  $0,75 \frac{m}{s}$ . Considerando, tuttavia, che i vari percorsi prevedono alcune curve, che la politica sulla sicurezza del cliente impone che la velocità dei mezzi a guida autonoma che viaggiano all'interno dell'ambiente produttivo sia

$$v_{max,cons} = 0,4 \frac{m}{s}$$

e tenendo conto di possibili ostacoli nel percorso, si è scelto di utilizzare, per la stima dei tempi di percorrenza, la velocità media sopra riportata.

Considerando che il robot dovrà effettuare ognuna delle missioni riportate in Tab. 4.2 una volta per ogni turno, è possibile a questo punto calcolare il tempo a pieno carico per ogni turno ( $t_{pc/turno}$ ) che è pari alla somma di tutti i tempi riportati in tab 4.2:

$$t_{pc/turno} = 4607,3 s = 76,8 min$$

Il tempo a vuoto per ogni turno ( $t_{vuoto/turno}$ ) sarà esattamente identico al tempo a pieno carico in quanto, al termine di ogni missione, Jo-Box dovrà tornare alla stazione MAG per restituire al magazziniere la cassetta vuota del turno precedente.

$$t_{vuoto/turno} = 76,8 min$$

Il tempo totale di percorrenza è quindi pari a:

$$t_{tot/turno} = t_{pc} + t_{vuoto} = 153,6 min$$

#### 4. Dimensionamento della flotta

Considerando un duty cycle del 50% tra tempi di movimento e tempi di attesa, un valore realistico per il tipo di utilizzo previsto (sebbene sia necessario notare che il duty cycle effettivo non può essere determinato con precisione in quanto varia per ciascuna specifica configurazione produttiva), il tempo operativo del Jo-Box, per ogni turno, è di:

$$t_{op/turno} = 153,6 \times 2 = 307,2 \text{ min} = 5,12 \text{ ore/turno}$$

Il duty cycle, in questo contesto, rappresenta il rapporto tra il tempo in cui il Jo-Box è effettivamente in movimento e il tempo totale del ciclo operativo, che include sia i tempi di movimento sia i tempi di attesa. Un duty cycle del 50% indica che il robot è in movimento per metà del tempo totale e in attesa o inattivo per l'altra metà. Questo parametro è cruciale per stimare il tempo di utilizzo e la capacità operativa del robot all'interno del sistema produttivo. Nel tempo di attesa, va incluso il tempo di carico e scarico di Jo-Box, oltre alla possibile inattività dovuta alla mancata attenzione dell'operatore, che potrebbe non accorgersi immediatamente dell'arrivo del robot alla sua postazione o ritardare lo scarico e l'assegnazione di una nuova missione per distrazione o per impegni concomitanti.

L'analisi dei dati (par. 5.4) mira a identificare tali situazioni, consentendo così di implementare le contromisure adeguate.

Occorre a questo punto calcolare il tempo di ricarica richiesto dal robot.

Il tempo in cui Jo-Box è disponibile per ogni turno, tenendo conto di 30 min di pausa degli operatori, è di:

$$t_{disp/turno} = 7,5 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}$$

Di conseguenza, il tempo a disposizione per la ricarica, per ogni turno, è pari almeno (“almeno” in quanto con una buona programmazione delle missioni si può fare in modo che nei 30 minuti di pausa dell'operatore il robot si ricarichi) a:

$$t_{ric-disp/turno} = 7,5 - 5,12 = 2,38 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}$$

In accordo con il cliente, per il dimensionamento della flotta sono state considerate le prestazioni della batteria al LiFePO4 che garantisce, con una carica completa della batteria, 36 ore di utilizzo del robot (ipotizzando un duty cycle del 50%).

Trattandosi di una batteria da 54 Ah ed essendo la base di ricarica da 10A, il tempo necessario per una ricarica completa è pari a:

$$t_{ric} = \frac{54 \text{ Ah}}{10 \text{ A}} = 5,4 \text{ ore}$$

Ogni 36 ore di utilizzo del robot con un duty cycle del 50% dunque, Jo-Box necessita di 5,4 ore per ricaricarsi completamente. Si ricorda però che questo tipo di batteria è adatta al biberonaggio; quindi, nei momenti di pausa il robot può essere mandato alla stazione di ricarica.

Considerando le 36 ore di utilizzo massimo con una carica completa e avendo stimato il tempo di utilizzo del robot per ogni turno, è possibile a questo punto calcolare potenzialmente per quanti turni Jo-Box è in grado di operare con una ricarica completa:

$$N^{\circ}_{turni/ricarica} = \frac{36 \text{ ore}}{5,12 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}} = 7 \text{ turni}$$

Ovviamente non è auspicabile che si scarichi completamente la batteria. L'obiettivo è sfruttare il tempo a disposizione di ogni turno per la ricarica parziale.

Jo-Box necessita di un tempo pari a 5,4 ore per una ricarica completa, che distribuito su 7 turni equivale a:

$$t_{ric/turno} = \frac{5,4 \text{ ore}}{7 \text{ turni}} = 0,78 \frac{\text{ore}}{\text{turno}} = 46,8 \frac{\text{min}}{\text{turno}}$$

Di conseguenza, la somma tra il tempo operativo ed il tempo di ricarica, per ogni turno, è pari a:

$$t_{tot \text{ richiesto}/turno} = 5,12 \frac{\text{ore}}{\text{turno}} + 0,78 \frac{\text{ore}}{\text{turno}} = 5,9 \text{ ore/turno}$$

Pertanto, considerando 7,5 ore di tempo disponibili per ogni turno, un singolo veicolo è più che adeguato a soddisfare i requisiti di servizio richiesti.

##### 5. Personalizzazione del piano di carico

Al fine di soddisfare le specifiche richieste dal cliente, è stata progettata e realizzata una struttura ad hoc che consente il trasporto dei consumabili mediante una cassetta collocata nel vassoio superiore della stessa. Inoltre, questa struttura è predisposta per lo stoccaggio di sonde e viteria, come illustrato in figura 4.11.

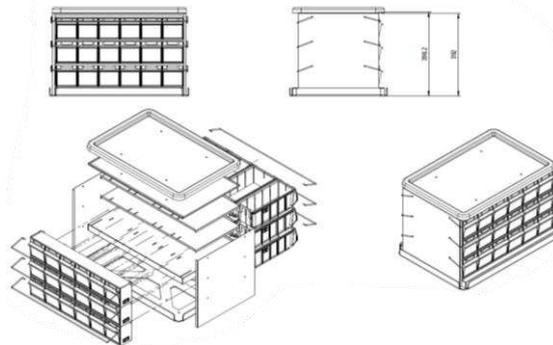


Figura 4.11: Disegno della struttura

# CAPITOLO 5

## UTILIZZO DI JO-BOX

In generale, l'utilizzo di un AMR (Autonomous Mobile Robot) da parte di un operatore è estremamente intuitivo, grazie al design user-friendly pensato per semplificare le operazioni quotidiane. Gli AMR, infatti, sono progettati per essere facilmente gestiti da operatori con competenze tecniche limitate, i quali interagiscono con l'AMR attraverso interfacce intuitive, spesso attraverso dispositivi mobili o computer, che permettono di programmare percorsi, assegnare compiti e monitorare lo stato del robot con pochi clic. Questo design orientato all'utente rende l'AMR uno strumento efficiente e sicuro, permettendo agli operatori di concentrarsi su attività a maggior valore aggiunto e migliorando complessivamente la produttività e la sicurezza sul luogo di lavoro.

Per quanto riguarda Jo-Box, tutte le attività inerenti l'utilizzo del robot, una volta terminata l'attività di installazione, sono concentrate nel "front-end", l'interfaccia utente che permette agli operatori di interagire con il robot.

### 5.1 Front-end

Con il termine "Front-end" si intende l'interfaccia utente del server FMS (Fleet Management System). Per aprirlo occorre utilizzare un browser e digitare l'indirizzo IP del server impostato nelle operazioni preliminari.

L'applicativo si apre direttamente sulla pagina principale senza dover inserire nome utente e password, i quali sono invece necessari qualora si decidesse di assegnare diversi livelli di accesso ai vari utenti. Infatti, nel caso di più utenti con mansioni differenti, è possibile attribuire a ciascuno di essi specifiche autorizzazioni tramite la schermata "Impostazioni" (vedi Fig. 5.1).

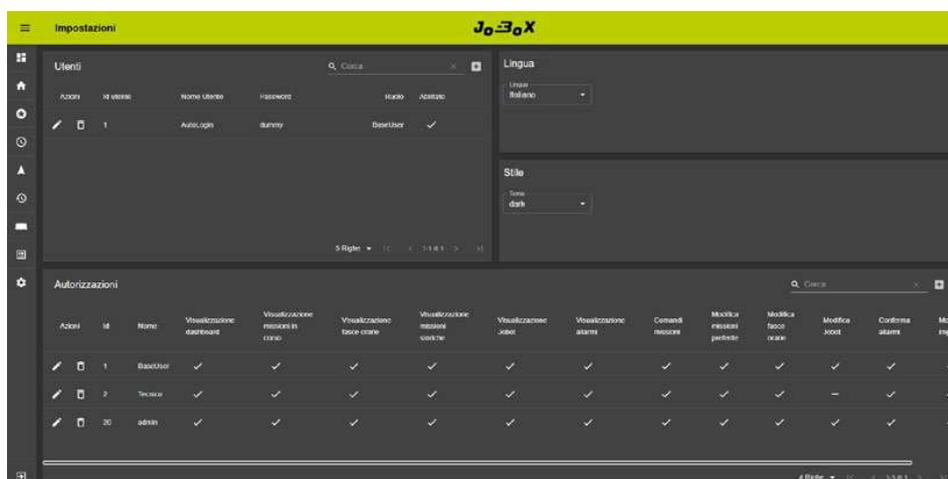


Figura 5.1: Schermata impostazioni

Il front-end è composto da diverse schermate che saranno illustrate di seguito.

Nella schermata “Home” sono presenti le icone corrispondenti ai punti d’attracco creati tramite Map-Editor.

Nel caso risultasse necessario aggiungere o rimuovere punti di attracco, occorre utilizzare il Map-Editor seguendo le indicazioni di cui al capitolo 4. Questa schermata costituisce l’interfaccia principale attraverso la quale gli operatori possono assegnare missioni alla flotta di AMR selezionando il veicolo da utilizzare (in alto a destra) ed una sequenza di punti di destinazione selezionando le relative icone. È possibile assegnare missioni punto-punto o missioni composte da più tappe che verranno eseguite nella sequenza di input.



Figura 5.2: Schermata Home

Una volta cliccato sulla/e icona/e corrispondenti ai target da raggiungere, è sufficiente premere il pulsante “Invio” per avviare la missione.

Tramite la schermata “Missioni Preferite” invece, è possibile salvare i percorsi ripetitivi. Questa funzione è particolarmente comoda in diverse situazioni operative e contribuisce a migliorare l’efficienza e la produttività. In ambienti di lavoro dove determinate missioni si ripetono regolarmente, come per esempio il trasporto di materiali tra stazioni fisse, salvare queste missioni come preferite permette di richiamarle rapidamente senza dover riprogrammare il robot ogni volta.

Un altro scenario in cui questa funzione è particolarmente utile riguarda gli ambienti di lavoro in cui molti operatori utilizzano l’AMR: salvare missioni preferite garantisce che anche gli operatori meno esperti possano eseguire

compiti complessi con facilità, assicurando consistenza e riducendo il rischio di errori.

Per creare una nuova missione preferita è sufficiente cliccare sull'icona in alto a destra (Fig. 5.3).



Figura 5.3: Missioni preferite

La schermata “Dashboard” riporta le informazioni relative ai blocchi di missioni in esecuzione, gli AMR attivi e gli allarmi.

Nella schermata “Missioni in corso” è possibile visualizzare l’avanzamento delle missioni in corso e la coda di missioni da eseguire ed è consentito da questa interfaccia mettere in pausa/riavviare o annullare una missione. La schermata “Storico Missioni” permette invece di visualizzare le missioni effettuate.



Figura 5.4: Missioni in corso

Nella schermata “Flotta” (Fig. 5.5) è possibile visualizzare tutti i Jo-Box che la compongono e, per ciascuno di essi, visualizzare alcune informazioni relative allo stato, ubicazione, connessione, carica delle batterie. Da questa interfaccia si possono modificare i livelli di carica % che determinano:

- Lo spegnimento controllato dell’AMR (in caso di livello molto basso) al fine di salvaguardare l’integrità dell’elettronica evitando uno spegnimento brusco.
- L’interruzione della missione in corso per rientrare in base di ricarica in caso di livello considerato critico al fine di prevenire lo spegnimento della macchina.
- L’auto-assegnazione di una missione di ricarica da eseguire al termine della missione in corso in caso di livello basso.

- La possibilità di uscire dalla base di ricarica con un livello considerato buono, ovvero sufficiente per un utilizzo per un periodo accettabile della macchina rispetto al caso d'uso.



Figura 5.5: Schermata Flotta

Sempre in tale schermata è possibile attivare il controllo remoto del robot attraverso l'icona “REMOTE RECOVERY” (vedi Par. 5.3).

La schermata “Allarmi” (Fig. 5.6), infine, visualizza gli allarmi generati dal sistema.

The screenshot shows the 'Allarmi' (Alarms) interface. It features a table titled 'Storico allarmi' (Alarm History) with the following columns: 'Id allarme' (Alarm ID), 'Livello' (Level), 'Nome' (Name), 'Data attivazione' (Activation Date), 'Data disattivazione' (Deactivation Date), 'Sorgente' (Source), and 'Contesto' (Context). The table contains 15 rows of alarm events, all of which are 'Communication error' or 'Emergency' warnings. The 'Livello' for all alarms is 'WARNING'. The 'Sorgente' for most is 'FMS', and for one is 'AMR-23'. The 'Contesto' for most is 'AMR-23', and for one is 'AMR-21'. The table also includes a search icon and a 'DS: High' indicator at the bottom right.

Id allarme	Livello	Nome	Data attivazione	Data disattivazione	Sorgente	Contesto
Z004	WARNING	Communication error	5/6/2024, 12:18:17	5/6/2024, 12:18:54	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 12:20:09	28/3/2024, 12:23:09	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:19:48	28/3/2024, 11:20:29	FMS	AMR-21
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:53:28	28/3/2024, 11:53:29	FMS	AMR-23
A05	WARNING	Emergency	28/3/2024, 11:20:37	28/3/2024, 12:23:09	AMR-23	
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:17:40	28/3/2024, 11:18:50	FMS	AMR-21
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:22:28	28/3/2024, 11:22:28	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:07:23	28/3/2024, 11:07:23	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	28/3/2024, 11:07:40	28/3/2024, 11:07:59	FMS	AMR-21
Z004	WARNING	Communication error	5/12/2023, 12:21:27	28/3/2024, 11:01:19	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	5/12/2023, 12:15:11	5/12/2023, 12:15:30	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	17/10/2023, 16:42:38	17/10/2023, 16:42:51	FMS	AMR-21
Z004	WARNING	Communication error	12/10/2023, 16:41:39	12/10/2023, 16:41:51	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	12/10/2023, 14:40:28	12/10/2023, 14:40:28	FMS	AMR-23
Z004	WARNING	Communication error	17/10/2023, 14:36:27	17/10/2023, 14:36:27	FMS	AMR-21

Figura 5.6: Schermata Allarmi

## 5.2 Interfaccia su Jo-Box e ciclo di lavoro

Il display posto sul retro di Jo-Box (vedi Par. 2.2.1) svolge la funzione primaria di fungere da unica interfaccia per l'input di conferma esecuzione carico/scarico che solo l'operatore incaricato nella postazione di destinazione della missione è nelle condizioni di poter consapevolmente dare. In pratica, una volta giunto a destinazione di una missione richiesta, il robot segnalerà sul display la scritta “CONTINUA” in verde e solo

attraverso un consenso dato dall'operatore cliccando su tale tasto, il robot verrà reso disponibile per la missione successiva.



Figura 5.7: Pulsante "Continua"

Per il corretto utilizzo della macchina, occorre procedere come di seguito descritto:

1. Caricare il piano con il materiale da movimentare, opportunamente inserito nel contenitore fornito con l'AMR.
2. Scollegare la macchina dalla stazione di ricarica, affidando una nuova missione all'AMR, selezionando i punti di attracco ed eventualmente impostando la ciclicità del percorso
3. Raggiunto un punto d'attracco, scaricare/caricare il materiale.
4. Liberare il Jo-Box per la missione successiva premendo il tasto "Continua" sul display del Jo-Box (Fig. 5.7)

### 5.3 Interfaccia remota

Questa funzione permette agli operatori di risolvere problemi e ripristinare il normale funzionamento del robot a distanza, senza la necessità di interventi fisici diretti. Tale interfaccia fornisce alcune informazioni di base sullo stato della macchina oltre ad una visualizzazione dell'immagine della webcam ed un basico sistema di movimentazione manuale tramite Joypad.

Quest'ultimo, in particolare, viene spesso utilizzato per forzare l'uscita del Jo-Box dallo stato di ECO in modo da riattivare tutti i processi sospesi.

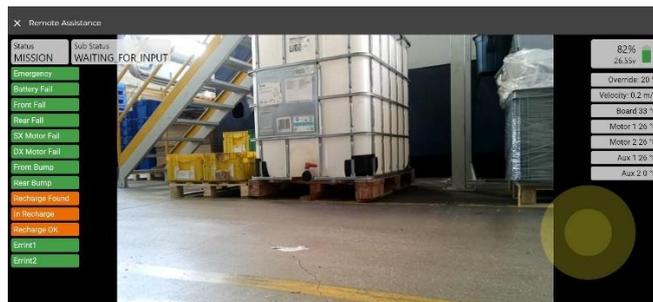


Figura 5.8: "Remote Recovery"

Oltre all'interfaccia remota appena descritta, esiste un altro strumento molto utile per quel che riguarda il monitoraggio, da remoto, del Jo-Box durante la sua navigazione. Si tratta del software RVIZ, già descritto in precedenza al paragrafo 4.3. In fase di navigazione, questo software può essere utilizzato per visualizzare in ogni momento i riferimenti del robot. Come si può vedere in Fig. 5.9, durante la navigazione o, più semplicemente, ogni volta che il robot è acceso e disponibile per una missione, il software RVIZ

mostra in diretta, tramite i punti bianchi, gli ostacoli che il robot sta rilevando. È sufficiente quindi assicurarsi che gli ostacoli fissi (ovvero muri e oggetti irrimovibili) che il robot sta rilevando, che sono rappresentati dai puntini bianchi in fig. 5.9, combacino con quelli che erano stati memorizzati in fase di mappatura (ovvero dai puntini neri).

Si ricorda che il software RVIZ è avviabile direttamente dal terminale del pc di bordo del robot.

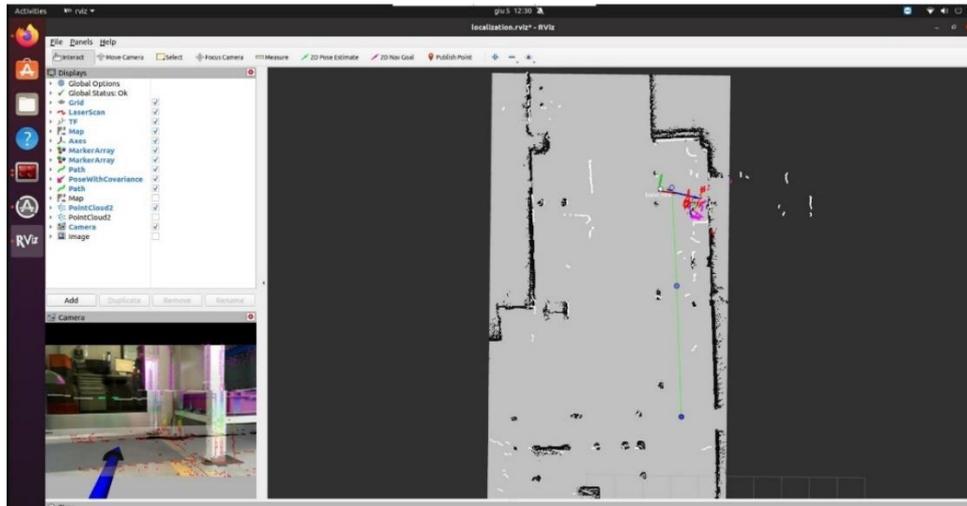


Figura 5.9: Schermata RVIZ

## 5.4 Analisi dei dati

Come sottolineato da Adam Jacoff et al. (2002), analizzare i dati provenienti dai robot mobili autonomi (AMR) è essenziale per migliorare l'accuratezza e l'efficacia delle loro operazioni. L'analisi dei dati consente di valutare le prestazioni degli AMR in ambienti complessi, identificare aree critiche che richiedono miglioramenti e adattare le strategie di navigazione e operazione in tempo reale. Questo approccio supporta il processo decisionale, contribuisce a ottimizzare l'utilizzo delle risorse e garantisce che i robot possano operare in modo sicuro ed efficiente, rispondendo prontamente ai cambiamenti nell'ambiente operativo.

Durante le missioni, oltre a memorizzare eventuali allarmi, Jo-Box registra una vasta gamma di dati, ed, in particolare, tiene conto di quante volte viene servita ogni stazione in un determinato intervallo di tempo. Questo dato è cruciale per identificare colli di bottiglia nel processo produttivo. Ad esempio, se una stazione viene servita con una frequenza molto alta rispetto alle altre, si è probabilmente di fronte ad un punto critico che rallenta l'intero flusso di lavoro. Ad ogni cliente, viene inviato, con cadenza bimestrale, un

report di analisi che contiene, per ogni stazione asservita dal robot, le seguenti informazioni:

- N° missioni
- N° missioni Completate
- N° missioni completate ma non confermate
- N° missioni in coda abortite dall'utente
- N° missioni in corso abortite dall'utente
- N° missioni fallite
- N° missioni annullate all'avvio
- N° missioni annullate dal sistema (abortite a causa dello scaricamento della batteria)

L'analisi approfondita dei dati raccolti permette quindi di prendere decisioni informate per incrementare la produttività, ridurre i costi operativi e garantire una maggiore affidabilità del sistema robotico.

## **5.5 Manutenzione ed assistenza**

Jo-Box è stato progettato con un'attenzione particolare alla minimizzazione delle esigenze di manutenzione. Ogni componente e sistema è stato selezionato per garantire una lunga durata e un'affidabilità elevata, riducendo così la frequenza degli interventi di manutenzione. Inoltre, quando la manutenzione diventa inevitabile, sia essa ordinaria o straordinaria, il design dell'AMR facilita al massimo tali operazioni. Le parti critiche sono facilmente accessibili e i moduli principali possono essere rapidamente sostituiti o riparati, riducendo al minimo i tempi di fermo macchina. Questo approccio non solo ottimizza la disponibilità operativa del robot, ma riduce anche i costi e le complessità associate alla manutenzione, garantendo un ciclo di vita del prodotto efficiente e sostenibile.

Le manutenzioni ordinarie che devono essere eseguite con una certa frequenza sono le seguenti:

1. Sostituzione batterie
2. Pulizia di ruote e sensori

Mentre la prima dipende dal tipo di batteria installata e dalla frequenza di utilizzo del robot, la seconda andrebbe effettuata al termine di ogni giornata lavorativa in modo da prolungare la durata della macchina e assicurare migliori prestazioni.

Sono da intendersi attività di manutenzione straordinaria, invece, gli interventi resi necessari da modifiche ambientali significative tali da

richiedere adeguamenti all'installazione e gli interventi resi necessari da rottura di parti e necessità di sostituzione componenti di ricambio

Per quanto riguarda invece l'assistenza, nel front-end è presente una pagina attraverso la quale ogni cliente può richiedere al fornitore assistenza da remoto, o, se necessario, prenotare un intervento (Fig. 5.10).

The image shows two screenshots of a web application for requesting assistance. The top screenshot displays the 'Assistenza' page with a green header and the 'Jo-Box' logo. The main content area is dark grey and contains a form with a dropdown menu for 'Tipo di problema', a text input for 'Descrizione del problema', and a green 'Invia' button. The bottom screenshot shows the same page with a dropdown menu open, listing several error types: 'Il robot si è spento', 'Il robot è fermo e non si muove più', 'Il robot è bloccato in ostacolo', 'Il robot si riavvia spesso', 'Il robot è mal localizzato', 'La missione non può essere cancellata', and 'Il front-end ha un comportamento anomalo'.

Figura 5.10: Richiesta di assistenza

# CAPITOLO 6

## IMPATTO ORGANIZZATIVO

Nel momento in cui si pianifica l'installazione di una flotta di AMR o, più in generale, l'introduzione di una soluzione robotica all'interno di un'azienda, è fondamentale considerare l'impatto organizzativo derivante da tale introduzione. Ogni realtà aziendale, infatti, presenta specifiche peculiari in termini di strutture, macchinari, organizzazione e, soprattutto, operatori. È un errore pensare che una soluzione standardizzata possa essere applicata universalmente con successo. La variabilità nelle aziende si manifesta non solo nelle infrastrutture fisiche, ma anche nella cultura organizzativa e nella predisposizione al cambiamento.

Ignorare queste diversità può portare a rendimenti significativamente diversi, anche utilizzando soluzioni robotiche identiche, poiché l'adattamento e l'integrazione degli AMR devono essere calibrati sulle specifiche esigenze e caratteristiche di ciascuna azienda.

Nel corso del presente capitolo verranno quindi approfondite tutte le tematiche relative all'impatto organizzativo, le potenziali problematiche che potrebbero emergere (estrapolate dalle esperienze acquisite durante l'installazione di Jo-Box presso alcuni clienti), e verranno descritte le contromisure che potrebbero essere adottate sulla base delle esperienze maturate durante queste installazioni.

### 6.1 Possibili problematiche

Le problematiche che verranno riportate di seguito e che potrebbero emergere durante l'introduzione di uno o più AMR all'interno delle aziende, sono state direttamente osservate durante l'installazione di Jo-Box presso vari clienti. È importante sottolineare che questo elenco non è esaustivo, poiché ogni realtà aziendale presenta specificità uniche, rendendo i fattori da considerare quasi sempre differenti.

1. La prima distinzione da fare riguarda la propensione dell'azienda ad adottare tecnologie innovative; alcune aziende possono essere più propense ad adottare nuove tecnologie, vedendo negli AMR un'opportunità reale per migliorare l'efficienza operativa e la competitività. Altre invece possono essere più avverse verso l'adozione di nuove tecnologie come gli AMR, ma alla fine decidono di implementarle comunque per seguire il trend del settore o per sfruttare gli incentivi derivanti dall'Industry 4.0. Tuttavia, tale approccio può complicare l'integrazione e l'ottimizzazione delle soluzioni proposte. Nel caso di Jo-Box, è capitato di incontrare clienti desiderosi di introdurre gli AMR all'interno del proprio ambiente operativo, ma che non erano pronti a integrarli pienamente. Ad esempio, non consentivano ai robot di comunicare con i sistemi gestionali aziendali, limitandone le

funzionalità. Inoltre, non erano disposti a permettere ai robot di utilizzare la rete wi-fi esistente, né a creare una rete dedicata per assicurare una copertura ottimale nell'area operativa. Queste decisioni riflettono un atteggiamento di sfiducia verso la tecnologia da parte di alcune aziende o, più semplicemente, un interesse superficiale nel seguire le tendenze di mercato senza un reale impegno verso l'innovazione tecnologica.

2. Un'altra possibile problematica da affrontare riguarda la densità operativa. In ambienti di lavoro più affollati, l'integrazione degli AMR richiede una pianificazione meticolosa dei percorsi e l'implementazione di misure di sicurezza per evitare interferenze con le attività umane. Al contrario, in contesti meno affollati, pur essendo queste sfide meno pronunciate, è comunque necessario assicurarsi che i robot operino in modo sicuro ed efficiente. Nelle installazioni di Jo-Box, è capitato di dover affrontare la sfida di far operare i robot in spazi ristretti o densamente popolati da personale. In queste circostanze, aumenta significativamente il rischio che i robot incontrino ostacoli mobili (o fissi) durante i loro spostamenti. Questo non solo comporta un rallentamento delle operazioni del robot, ma può anche compromettere le sue prestazioni complessive. È cruciale anticipare questi scenari durante la fase di pianificazione dell'installazione, al fine di adeguare correttamente la dimensione della flotta di robot e implementare le opportune contromisure.
3. Gli atteggiamenti degli operatori verso le soluzioni robotiche rappresentano un ulteriore elemento di variabilità. Alcuni operatori possono essere entusiasti di collaborare con i robot, percependoli come strumenti che alleviano il carico di lavoro e migliorano la produttività. Altri, invece, possono essere più ostili, percependo i robot come una minaccia al proprio lavoro o come elementi che riducono le interazioni personali con i colleghi.

A tal riguardo, Berx et al. (2021) hanno condotto uno studio (parte di un progetto pilota sull'introduzione di AMR nel processo di picking degli ordini), per comprendere se lavorare con un AMR aumenti il carico psicologico degli operatori e come questi percepiscano il lavoro con il robot. A causa della pandemia Covid-19, per la ricerca sono stati utilizzati sondaggi scritti individuali anziché interviste faccia a faccia. Il carico psicologico è stato valutato utilizzando il "Questionnaire on the Experience and Assessment of Work" (QEAW), mentre la percezione del lavoro con AMR è stata ispirata dal "Technology Acceptance Model" (TAM). Dai risultati è emerso che lavorare con un AMR non aumenta il carico psicologico. Gli operatori hanno riferito meno monotonia, minore carico cognitivo, meno pressione del tempo e maggiore entusiasmo per il lavoro. La percezione del lavoro con l'AMR è stata quindi positiva, ed essi non sono stati visti come una minaccia

per la sicurezza o per la perdita del lavoro, anche se sono stati suggeriti miglioramenti per ottimizzare la comunicazione e i processi di lavoro e per ridurre i rischi di collisione. Berx et al. (2021) però evidenziano che, sebbene l'introduzione dei robot autonomi mobili (AMR) non abbia portato ad un aumento del carico psicologico, la percezione degli operatori può variare significativamente a seconda del campione di analisi, del contesto e dell'esperienza personale. Secondo gli autori, la loro ricerca è da considerarsi innovativa data la quasi totale assenza di studi precedenti sull'effetto di lavorare con AMR in un ambiente industriale. Ce ne sono infatti pochissimi che valutano gli effetti psicosociali dati dai robot in generale e dagli AMR in particolare sul luogo di lavoro. È necessario quindi effettuare gli studi su operatori di diverse età e di diverse realtà aziendali.

Nel paragrafo 4.5.2 è stata descritta l'installazione di Jo-Box presso un cliente. Dopo alcuni mesi dall'implementazione, si è verificato un episodio che ha evidenziato quanto sia delicato l'aspetto relativo alla percezione del robot da parte degli operatori. Prima che il robot fosse introdotto, gli operatori erano soliti andare fisicamente in magazzino per ottenere i ricambi necessari direttamente dal magazziniere.

Con l'introduzione di Jo-Box, la richiesta dei ricambi è stata digitalizzata: una volta ricevuta, il magazziniere preparava il materiale e lo caricava sul robot, che si dirigeva autonomamente al punto dal quale era partita la richiesta. Questo cambiamento ha portato a una separazione fisica tra il magazziniere e gli altri operatori, interrompendo i contatti diretti precedenti.

Il dipendente del reparto ricambi del magazzino ha manifestato disagio rispetto a questa nuova procedura, percepita come una perdita di interazioni personali e relazioni umane. Questa situazione ha spinto l'operatore a consultare i sindacati per trovare soluzioni che potessero attenuare gli effetti negativi sulla sua esperienza lavorativa.

Di conseguenza, è stato raggiunto un accordo che limitava l'utilizzo di Jo-Box alle sole linee di produzione critiche, mantenendo le interazioni personali essenziali dove necessario. Questo episodio evidenzia l'importanza di equilibrare l'efficienza introdotta dalle soluzioni robotiche con la salvaguardia delle dinamiche umane e relazionali in contesti industriali complessi.

4. Ulteriori problematiche rilevate dopo le installazioni di Jo-Box presso i clienti derivano dall'implementazione delle soluzioni robotiche senza un'adeguata e comprensibile formazione degli operatori. Spesso, le aziende coinvolgono solo i responsabili dei reparti nella fase di pianificazione, trascurando il fatto che gli operatori saranno coloro che interagiranno quotidianamente con i robot. L'analisi dei dati delle varie flotte di Jo-Box installate, e in alcuni casi la revisione delle missioni,

ha evidenziato diverse criticità derivanti da una formazione inadeguata degli operatori.

Ad esempio, è stato osservato che lo stesso robot, nella stessa azienda e con gli stessi compiti, presentava prestazioni significativamente diverse a seconda dell'operatore che lo gestiva. Questo è dovuto al fatto che uno degli operatori tardava sistematicamente a scaricare il robot e a premere il pulsante di continuazione.

In un altro caso, un cliente lamentava che l'AMR perdesse tutti i riferimenti durante la navigazione. Anche in questa situazione, l'analisi delle missioni ha rivelato che alcuni operatori, non direttamente addetti all'uso del robot ma comunque presenti nell'ambiente di lavoro, spostavano il robot manualmente fino alla stazione più vicina quando questo si bloccava a causa di un ostacolo lasciato da loro sul percorso, sperando che si rilocalizzasse autonomamente.

Infine, un altro cliente ha segnalato che il robot non riusciva ad entrare correttamente nella base di ricarica: arrivava correttamente davanti alla base, ma si bloccava durante la manovra di entrata. Il problema era dovuto al fatto che gli operatori avevano appoggiato il joystick del robot sopra la base di ricarica, coprendo così uno dei tag utilizzati da Jo-Box per centrarsi.

Questi esempi sottolineano l'importanza cruciale di una formazione dettagliata e mirata per tutti gli operatori che interagiscono con i robot, al fine di garantire un funzionamento ottimale e senza intoppi delle soluzioni robotiche implementate.

Tutte le problematiche descritte in questo paragrafo evidenziano l'importanza cruciale di considerare la realtà aziendale specifica durante la fase di progettazione delle soluzioni robotiche. Nel paragrafo 6.2 saranno illustrate alcune azioni correttive, contromisure e accorgimenti, derivati dall'esperienza delle installazioni di Jo-Box, per prevenire le criticità riscontrate.

## **6.2 Pianificazione della soluzione**

Le problematiche delineate nel paragrafo 6.1 hanno messo in luce l'importanza cruciale di una pianificazione meticolosa delle soluzioni tecnologiche, in modo da considerare le peculiarità di ogni singola realtà aziendale. È evidente che ogni implementazione porta con sé delle lezioni utili, che consentono di identificare e sviluppare contromisure efficaci per evitare il ripetersi degli stessi ostacoli. Sebbene l'elenco delle problematiche presentato nel paragrafo 6.1 non possa essere considerato esaustivo, data la diversità intrinseca di ogni azienda e le mutevoli sfide che possono emergere, esso fornisce una base solida da cui partire.

Le esperienze pregresse hanno sottolineato la necessità di un approccio dinamico e adattabile, capace di rispondere prontamente alle problematiche inedite che possono sorgere durante o dopo l'integrazione degli AMR. È

fondamentale, dunque, adottare una strategia che non solo risponda reattivamente alle sfide, ma che sia anche proattiva nella previsione e nella mitigazione dei potenziali rischi.

Per affrontare efficacemente queste sfide, è essenziale pianificare al meglio la soluzione attraverso un processo che dovrebbe includere:

1. **Analisi delle specificità aziendali:** prima di qualsiasi implementazione, è fondamentale condurre un'analisi dettagliata delle caratteristiche e delle esigenze specifiche dell'azienda. Questo include la valutazione dell'infrastruttura IT esistente, delle procedure operative e delle competenze del personale.
2. **Progettazione personalizzata:** sviluppare soluzioni su misura che tengano conto delle particolarità di ogni cliente. Ciò comporta la configurazione degli AMR per l'integrazione con i sistemi gestionali esistenti e la pianificazione di reti dedicate, se necessario.
3. **Formazione e supporto:** offrire programmi di formazione completi e supporto tecnico continuo per garantire che il personale aziendale sia adeguatamente preparato a gestire e sfruttare le nuove tecnologie. Questo aiuta a ridurre la resistenza al cambiamento e a migliorare l'efficacia dell'implementazione. Questo aspetto verrà ulteriormente approfondito al par. 6.3.
4. **Monitoraggio e feedback:** è essenziale raccogliere i dati sulle prestazioni degli AMR e sul loro impatto operativo ed utilizzare questi dati per apportare miglioramenti continui e per rispondere tempestivamente ad eventuali problematiche.
5. **Comunicazione e trasparenza:** mantenere una comunicazione chiara e trasparente con i clienti riguardo ai benefici, ai rischi e alle limitazioni delle soluzioni proposte. Una comunicazione efficace contribuisce a costruire la fiducia del cliente

In sintesi, la capacità di imparare dalle esperienze passate e di adattarsi rapidamente alle nuove sfide è essenziale per garantire il successo dell'implementazione degli AMR. Un approccio basato su una pianificazione accurata, su una formazione continua e su una comunicazione trasparente rappresenta la chiave per massimizzare i benefici delle tecnologie innovative e per supportare le aziende nel loro percorso di trasformazione digitale.

### **6.2.1 Modalità di pianificazione dei percorsi e riduzione dei rischi**

Una contromisura che si è rivelata estremamente efficace riguarda la pianificazione e la definizione anticipata dei percorsi dei robot. Come già ampiamente detto, Jo-Box è un AMR progettato per navigare autonomamente da un punto all'altro senza la necessità di seguire percorsi predefiniti, sfruttando i suoi sensori per orientarsi ed evitare

ostacoli. Tuttavia, considerando la variabilità presente all'interno delle diverse realtà aziendali e, in particolare, la presenza del personale che opera negli stessi spazi di Jo-Box, definire percorsi standardizzati si è dimostrato un metodo prezioso per incrementare la sicurezza e le prestazioni operative dell'AMR.

L'implementazione di percorsi standardizzati consente di tracciare fisicamente il percorso a terra mediante, per esempio, l'uso di linee colorate, una soluzione che non solo migliora la visibilità del tragitto del robot, ma che aumenta anche l'attenzione del personale umano, riducendo la probabilità che ostacoli mobili vengano lasciati sul percorso. Questo accorgimento è particolarmente utile per il personale che non è direttamente coinvolto nell'utilizzo di Jo-Box, ma che condivide comunque gli spazi operativi. Attraverso l'adozione di percorsi predefiniti, si riesce a creare un ambiente di lavoro più sicuro e organizzato, dove il rischio di collisioni o interferenze tra robot e operatori è significativamente ridotto.

Occorre ribadire che la pianificazione dei percorsi standardizzati non rappresenta una mancanza di fiducia nella tecnologia di navigazione autonoma di Jo-Box, bensì un'azione preventiva volta a minimizzare possibili situazioni di rischio ed a fornire un contesto più controllato in cui le capacità avanzate di Jo-Box non vengono limitate ma ottimizzate.

### **6.3 Formazione del personale**

La formazione del personale rappresenta una fase cruciale per il successo dell'implementazione di soluzioni robotiche come gli AMR. Coinvolgere il personale sin dalle prime fasi del progetto, anche prima dell'installazione, è fondamentale per assicurare una transizione fluida e per massimizzare i benefici offerti dalla tecnologia.

Innanzitutto, è essenziale che il personale comprenda i vantaggi che gli AMR possono apportare all'azienda. Presentazioni, dimostrazioni pratiche e sessioni informative possono aiutare a dissipare eventuali timori e a mostrare come i robot possano migliorare l'efficienza operativa, ridurre il carico di lavoro e aumentare la competitività aziendale. Questo tipo di coinvolgimento iniziale contribuisce a creare un clima di accettazione e supporto verso l'innovazione tecnologica.

La formazione deve essere estesa a tutto il personale coinvolto, non solo ai responsabili di reparto, ma anche agli operatori che interagiranno quotidianamente con i robot. Un programma di formazione dettagliato e mirato dovrebbe includere sia aspetti teorici che pratici, coprendo la conoscenza dei sistemi AMR, spiegando come funzionano e come possono essere utilizzati per migliorare i processi aziendali. È cruciale formare il personale sulle misure di sicurezza e sui protocolli di emergenza per garantire un ambiente di lavoro sicuro per tutti, minimizzando i rischi di incidenti o malfunzionamenti. Inoltre, un flusso continuo di feedback tra gli

operatori e il team di implementazione permette di identificare eventuali problematiche e aree di miglioramento, consentendo di apportare aggiustamenti tempestivi e di ottimizzare le operazioni.

Attraverso la formazione, è possibile far capire agli operatori che l'obiettivo non è quello di sostituirli con dei robot, ma di concentrare il loro operato sulle attività a maggior valore aggiunto. Gli AMR devono essere visti come mezzi di supporto che consentono agli operatori di dedicarsi a compiti più complessi e gratificanti, migliorando così la qualità del lavoro e l'efficienza complessiva. La formazione del personale non è solo un passaggio obbligato, ma un investimento strategico che determina il successo a lungo termine dell'integrazione degli AMR. Un personale ben formato e consapevole delle potenzialità della tecnologia sarà in grado di sfruttare appieno le soluzioni robotiche, contribuendo a creare un ambiente di lavoro più efficiente, sicuro e innovativo.

## **6.4 Sicurezza di Jo-Box e idoneità a convivere con le persone**

Al di là della formazione del personale e della pianificazione della soluzione, occorre ricordare che l'AMR Jo-Box è stato progettato con un'attenzione meticolosa alla sicurezza, rendendolo assolutamente adatto a convivere con le persone in ambiente lavorativo. Jo-Box è estremamente compatto e leggero, il che ne riduce significativamente l'impatto fisico in caso di collisione. Grazie alle sue dimensioni ridotte e al basso peso, anche qualora dovesse accidentalmente entrare in contatto con un operatore, l'energia cinetica trasmessa sarebbe minima a causa delle basse velocità operative, assicurando che il rischio di lesioni sia praticamente nullo.

Come già ampiamente descritto nei capitoli precedenti, il design di Jo-Box include una serie di sistemi di sicurezza avanzati, che contribuiscono a creare un ambiente di lavoro sicuro e affidabile. È infatti dotato di bumper, di sensori a ultrasuoni o di telecamera 3D, e di scanner laser.

In sintesi, Jo-Box è stato sviluppato per garantire la massima sicurezza e integrazione con gli operatori umani. La combinazione di un design compatto e leggero con una suite completa di sistemi di sicurezza rende Jo-Box un alleato affidabile ed efficiente, capace di supportare le attività aziendali senza compromettere la sicurezza dei lavoratori.



## Conclusioni

Il presente lavoro ha illustrato i vantaggi e le potenzialità di Jo-Box, un Autonomous Mobile Robot (AMR) progettato per la movimentazione di piccoli carichi. L'analisi dettagliata del progetto ha dimostrato che questa soluzione rappresenta un'opzione affidabile, economica, compatta, di facile implementazione e utilizzo estremamente intuitivo.

Jo-Box è stato sviluppato per rispondere alle esigenze delle moderne realtà industriali che richiedono soluzioni flessibili e sicure per ottimizzare i processi logistici interni. Grazie a sistemi avanzati di localizzazione, navigazione e sicurezza, questo robot può operare in modo continuo e senza interruzioni, garantendo un'elevata efficienza operativa.

Tuttavia, dall'analisi condotta emerge chiaramente che l'introduzione di soluzioni robotiche come Jo-Box non è sempre scontata nelle diverse realtà aziendali. Non tutte le aziende accettano la tecnologia allo stesso modo e lo stesso robot può avere performance completamente differenti in contesti aziendali diversi. Questo è dovuto a vari fattori, tra cui la cultura aziendale, la formazione del personale e le specifiche esigenze operative.

Il capitolo finale ha posto l'accento sull'impatto organizzativo dell'implementazione di Jo-Box. È stato osservato che, per ottenere una soluzione di successo, è fondamentale considerare il fattore umano. La tecnologia continuerà a fare progressi, ma è la sinergia tra l'innovazione tecnologica e l'adattamento umano che determina il successo dell'integrazione di sistemi robotici.

In sintesi, mentre Jo-Box si presenta come un'innovativa soluzione tecnologica capace di migliorare la produttività e garantire un ambiente di lavoro sicuro, il suo impatto positivo dipende anche dalla corretta gestione del cambiamento organizzativo e dalla formazione degli operatori. Solo con un'attenta pianificazione e considerazione del fattore umano è possibile massimizzare i benefici derivanti dall'introduzione di robot autonomi nelle aziende.



## BIBLIOGRAFIA

Bakken, D. (2001). Middleware. In J. Urban & P. Dasgupta (Eds.), *Encyclopedia of Distributed Computing*. Kluwer Academic.

Bastos, D., Monteiro, P.P., Oliveira, A.S.R., & Drummond, M.V. (2021). An overview of LiDAR requirements and techniques for autonomous driving. *2021 Telecoms Conference (ConfTELE)*, 1-6.

Berx, N., Pintelon, L., & Decré, W. (2021). Psychosocial Impact of Collaborating with an Autonomous Mobile Robot. *Companion of the 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI'21 Companion)*.

Che-Wen Chen, C., Lin, C.-L., Hsu, J.-J., Tseng, S.-P., & Wang, J.-F. (2021). Design and Implementation of AMR Robot Based on RGBD, VSLAM and SLAM. *9th International Conference on Orange Technology*.

Choobineh, F. F., Asef-Vaziri, A., & Huang, X. (2011). Fleet sizing of automated guided vehicles: A linear programming approach based on closed queuing networks. *International Journal of Production Research*, 50(12), 3222–3235.

Hiemstra, P., & Nederveen, A. (2007). Monte carlo localization. *Ad Hoc Networks*, 6(5), 718-733.

Jacoff, A., Messina, E., Weiss, B., & Evans, J. (2002). Valutazione delle performance dei robot mobili autonomi (AMR). National Institute of Standards and Technology (NIST).

Jie Li, L., Cheng, L., Wu, H., Xiong, L., & Wang, D. (2012). An Overview of the Simultaneous Localization and Mapping on Mobile Robot. In *Proceedings of 2012 International Conference on Modelling, Identification and Control* (pp. 358-264).

Köseoğlu, M., Çelik, O. M., & Pektaş, Ö. (2017). Design of an Autonomous Mobile Robot Based on ROS. In *2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*.

McNulty, D., O'Brien, A., Kennedy, T., & Ryan, K. M. (2022). Advanced battery management systems for autonomous mobile robots. *Journal of Power Sources*, 545, 231943.

Oyekanlu, E. A., Patnaik, S., Venkatraman, S., Pratama, M., Agyei-Mensah, S., Singh, S. K., & Dwivedi, R. (2020). Review of recent advances in AGV technologies. *IEEE Access*, 8, 202345-202361.

Russell, K., & Hung, M. L. (2024). Review of Autonomous Mobile Robots for the Warehouse Environment. *Advanced Robotics and Automation (ARA) Lab*, University of Nevada, Reno, 1664 N Virginia St., Reno, 89557, NV, U.S.

Unger, H., Markert, T., & Müller, E. (2018). Evaluation of use cases of autonomous mobile robots in factory environments. *Procedia Manufacturing*, 17, 254-261.

<https://www.eutronica.com/>

<https://www.jobot.it/>

<https://www.mecalux.it/blog/amr-vs-agv>