

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale
Analisi e simulazione di un sistema composto da
un veicolo a guida autonoma e da un braccio
robotico per la composizione di pallet misti



Relatori
Prof. Franco Lombardi

Candidato
Francesco Sarracino

Correlatrice
Dott.ssa Giulia Bruno

Anno Accademico 2020/2021

INDICE:

1. INTRODUZIONE	1
1.1 OBIETTIVO DEL LAVORO	2
2. I MAGAZZINI AUTOMATICI.....	4
2.1 DEFINIZIONE DI PICKING IN LOGISTICA	4
2.2 RIPERCUSSIONE DEL PICKING SULL'INVESTIMENTO	5
2.4 IL MAGAZZINO ROBOTIZZATO NELL'ERA DELL'INDUSTRIA 4.0.....	8
2.4.1 I principali sistemi presenti nel magazzino robotizzato	9
2.5 IL PICKING AUTOMATICO: COME DISPORRE I ROBOT NEL MAGAZZINO	11
2.6 COSA SONO GLI AGV E A COSA SERVONO	14
3. COMPOSIZIONE DI PALLET MISTI	17
3.1 DIFFERENZA TRA MAGAZZINO AUTOMATICO E TRADIZIONALE	21
3.2 SISTEMI AUTOMATIZZATI DI STOCCAGGIO CON SATELLITI E VEICOLI	23
3.3 SISTEMI PER CREAZIONE DI PALLET MISTO	25
4. LA SIMULAZIONE AD AVENTI DISCRETI	30
4.1 SCHEMA DELLO STUDIO DI UN PROBLEMA BASATO SULLA SIMULAZIONE	32
4.1.1 Applicazioni tipiche della simulazione e software adoperati	34
5. MODELLO DI SIMULAZIONE PRELIMINARE	36
5.2 ANDAMENTO DELLO STATE OF CHARGE DEL MIR-UR	41
5.3 FORMULAZIONE DELL'ESPERIMENTO REALE	42
5.4 ANALISI DEI DATI	45
6. CASO AZIENDALE	48
6.1 INITIALIZATION WAREHOUSE	50
6.2 LOGICA DI MOVIMENTAZIONE DEL TASK EXECUTER.....	51
6.3 GENERATION ORDERS.....	53
6.4 MIR-UR3 TRAVELLING.....	59
7. RISULTATI E DISCUSSIONI	62
7.1 Risultati del caso aziendale	62
7.2 SCENARI DIFFERENTI.....	63
8. CONCLUSIONE.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	69

INDICE TABELLE:

Tabella 1 - Scenario colli.....	40
Tabella 2 - Scenario 4 colli.....	41
Tabella 3 - Ordini Elci.....	54
Tabella 4 - Global parameters.....	56
Tabella 5 - Order History.....	58
Tabella 6 - Order History Complete.....	59
Tabella 7 - Tempo lavoro del Mir-Ur.....	64

INDICE FIGURE:

Figura 1 - MIR 100.....	2
Figura 2- Ur3.....	2
Figura 3 - Prototipo provvisto di braccio robotico.....	3
Figura 4 - Esempio di magazzino attrezzato con scaffalatura per picking.....	5
Figura 5 - Magazzino automatico verticale.....	8
Figura 6 - Postazione di picking installata nella testata di un magazzino automatico.....	11
Figura 7 - Postazione di picking su pallet installata nella zona laterale del magazzino automatico.....	12
Figura 8 - Robot antropomorfo per il picking.....	13
Figura 9 - Schema picking preparazione ordini con portale a tre assi.....	14
Figura 10 - Caratteristiche funzionali.....	17
Figura 11 - Scatole intrecciate.....	18
Figura 12 - Scatole accatastate.....	18
Figura 13 - Unità di carico formata correttamente vs crollo laterale.....	19
Figura 14 - Spazi vuoti tra imballaggi.....	19
Figura 15 - Imballaggi che sporgono fuori dal pallet.....	20
Figura 16 - Configurazione del sistema di stoccaggio lift&run.....	23
Figura 17 - Magazzino automatico rotante.....	30
Figura 18 - Mir 100 Ur-3.....	36
Figura 19 - Layout automatic warehouse.....	38
Figura 20 - Velocità ed accelerazione del Mir-100.....	40
Figura 21 - Rack esperimento reale.....	42
Figura 22 - Picking and placing Ur3.....	44
Figura 23 - Unloading.....	44
Figura 24 - Scenario 2 colli.....	45
Figura 25 - Scenario 4 colli.....	45
Figura 26 - Unloading.....	46
Figura 27 - Schema di un singolo rack.....	48
Figura 28 - Layout magazzino Elci impianti.....	49
Figura 29 - Storage item.....	49
Figura 30 - Initialization warehouse.....	50
Figura 31 - Allocazioni delle merci in magazzino.....	51
Figura 32 - Task executer.....	52
Figura 33 - A*navigator.....	53
Figura 34 - Distribution fitter.....	55
Figura 35 - Generation order.....	56

Figura 36 - Codice in different sku.....	57
Figura 37 - Pallet misto	59
Figura 38 - Mir-Ur logic travel.....	60
Figura 39 - Operazione di picking.....	61
Figura 40 - Operazione di unloading.....	61
Figura 41 - State of charge (Mir-Ur)	65
Figura 42 - Sistema di visore montato sul Ur3	67
Figura 43 - Vista dal sistema di visione.....	68

Abstract

Analisi e simulazione di un sistema composto da un veicolo a guida autonoma e da un braccio robotico per la composizione di pallet misti

Il mercato globale necessita sempre più di sistemi di produzione snelli capaci di fornire beni personalizzati, con una efficienza elevata sia nelle operazioni di produzione che di logistica interna. In quest'ultimo ambito, la richiesta di produzioni personalizzate e di consegne just-in-time pongono una serie di sfide per i sistemi di movimentazione dei materiali. In molti settori, la richiesta da parte dei clienti di diverse categorie di prodotti all'interno dello stesso ordine sta portando alla necessità di impiegare sistemi in grado di creare pallet misti reperendo i prodotti autonomamente dal magazzino. L'investimento necessario a impiegare tali sistemi deve essere giustificato tenendo conto dei vari fattori che incidono sui costi: il numero di persone impiegate, le dimensioni del magazzino, la modalità di picking, le condizioni di stoccaggio dei prodotti e i sistemi di identificazione.

Questo lavoro di tesi propone una soluzione a questo problema mediante l'utilizzo di un sistema composto da un veicolo a guida autonoma (AGV) e da un braccio robotico, in grado di muoversi autonomamente all'interno di un magazzino per comporre il pallet misto. La sperimentazione iniziale di questo sistema è stata effettuata presso il Laboratorio di Economia e Produzione (LEP) del Politecnico di Torino. In seguito, è stato implementato il modello di simulazione a eventi discreti per poter valutare l'impiego in diverse realtà aziendali. In particolare, il modello è stato applicato nel contesto dell'azienda Elci Impianti, ed è stata effettuata una simulazione basata sui dati reali dell'azienda.

I risultati ottenuti dalle simulazioni hanno permesso di valutare l'efficacia del sistema proposto, soprattutto nei casi di elevate frequenze di ordini da evadere. In questo modo i costi legati all'investimento iniziale possono essere recuperati mediante la riduzione del personale addetto alla composizione dei pallet, e la conseguente riduzione del lead time e degli errori di caricamento merci.

1. Introduzione

In questo elaborato è stato effettuato lo studio di un dispositivo innovativo per agevolare le operazioni di picking e placing in azienda. Tale dispositivo è costituito da due sistemi indipendenti che lavorano in collaborazione. L'obiettivo è quello di soddisfare un determinato numero di ordini, nel minor tempo possibile, creando un pallet misto che sia costituito dalla merce presente in magazzino.

I dispositivi utilizzati per realizzare ciò sono:

- Mir-100: robot mobile autonomo (AMR) progettato per ottimizzare la produttività nelle operazioni logistiche e produttive. Gli AMR rendono le attività di logistica aziendale più efficienti, consentendo di ridurre i tempi di consegna, il rischio di colli di bottiglia, e di ottimizzare la sicurezza. Ogni robot Mir si adatta alla maggior parte degli ambienti, si muove in spazi ristretti e sale in modo autonomo su ascensori e rampe. Il Mir-100 è estremamente flessibile ed è in grado di trasportare autonomamente carichi fino a 100 kg permettendo l'installazione di moduli superiori personalizzati quali: rulliere, nastri, sistemi di sollevamento, sistemi per l'aggancio automatico di carrelli o bracci robotizzati collaborativi. Grazie ai sensori presenti a bordo, evita in tutta sicurezza le persone e gli ostacoli, inoltre è possibile scaricare le planimetrie digitali dell'edificio direttamente sul robot. La missione del robot si può adattare facilmente utilizzando uno smartphone, un tablet, un computer o più in generale qualsiasi dispositivo connesso in rete. Tutto questo è possibile senza la necessità di apportare modifiche all'infrastruttura aziendale come, ad esempio, l'installazione di bande magnetiche o sensori catarifrangenti che, oltre ad avere un costo elevato, costituiscono una rigidità enorme e rendono impossibili eventuali modifiche future.



FIGURA 1 - MIR 100

- UR3: è un robot a sei assi in cui i primi tre costituiscono i gradi di libertà del braccio mentre gli ultimi tre del polso non sferico. Il braccio di “Universal Robot” è costituito da tubi (con materiali come alluminio, plastica PP, acciaio) e giunti.



FIGURA 2- UR3

1.1 Obiettivo del lavoro

Partendo da un sistema di movimentazione automatica a navetta, si vuole sviluppare una diversa tipologia di handling device (braccio robotico) per la creazione di un sistema flessibile e customizzato che possa andare a soddisfare diverse esigenze industriali, attività di in-bound e out-bound di pallet e sistemi di picking automatizzato di piccoli colli con packing standard. Questo sistema di movimentazione a navetta sarà interconnesso attraverso reti di sensori e raccolte dati con un sistema centrale di controllo seguendo i principi

dell'industria 4.0. Si vuole concentrare in un'unica navetta tutto quello che oggi viene gestito con più sistemi di movimentazione manuale o automatica garantendo performance elevate. L'azienda italiana Eurofork è interessata ad ampliare la gamma di navette automatiche ponendo l'attenzione su due diversi tipi di dispositivi di manipolazione partendo dal concetto di ESMARTSHUTTLE per la creazione di pallet misti. In pratica vi è l'esigenza di installare un braccio robotico collaborativo, in caso di picking con presenza dell'uomo, su uno shuttle, al fine di prelevare prodotti da baie statiche multi-profondità.

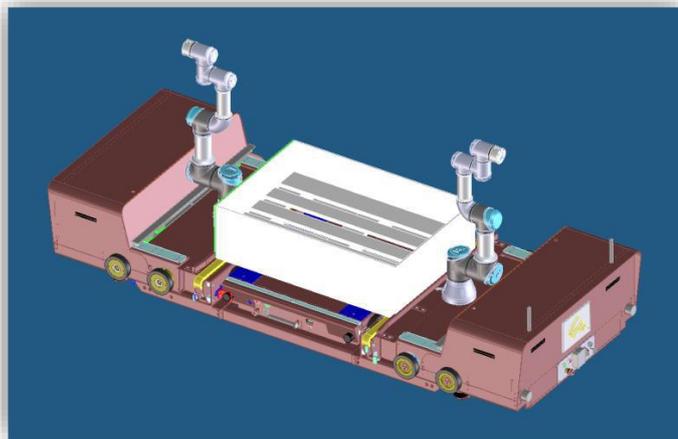


FIGURA 3 – PROTOTIPO PROVVISORIO DI BRACCIO ROBOTICO

Questa navetta andrà ad interfacciarsi con il materiale presente nel magazzino stoccato per lotti e in pallet di grosse dimensioni andando a prelevare singole unità di prodotto con l'obiettivo di creare pallet misti.

Il software utilizzato per la modellazione di quanto detto è Flexsim, con il quale è stato possibile effettuare la modellazione dell'esperimento in laboratorio e successivamente la validazione di questo. I dati raccolti sono: velocità del Mir e tempi per il compimento della missione. Questi dati sono stati di rilevante importanza perché inseriti come input per il caso aziendale. Infatti, come caso reale, il sistema è stato modellato per il magazzino aziendale di Elci impianti S.r.l. In prima battuta è stato creato un modello del magazzino ed in secondo luogo è stata creata tramite Matlab una distribuzione statistica degli ordini che

tale azienda è abituata a soddisfare. Tali informazioni sono poi acquisite dal Mir, il quale inizia la missione al fine di creare un pallet misto.

Come conclusione dell'elaborato è stata effettuata un'analisi di differenti scenari, i quali differiscono tra loro in base alla frequenza con la quale vengono evasi gli ordini. In particolare, si può comprendere che questo tipo di prodotto è essere consigliato a realtà aziendali che hanno una elevata frequenza di ordini, i quali devono essere evasi in poco tempo. Inoltre, si può prevedere, per questo tipo di sistema un upgrade, affidando la missione a più Mir che lavorano in serie. Questo comporta dei vantaggi a livello di tempistiche anche se l'esborso economico ovviamente aumenta.

2. I magazzini automatici

2.1 Definizione di picking in logistica

Con il termine picking si fa riferimento all'attività di selezione e prelievo parziale di materiali, appartenenti a diverse unità di carico, che può essere svolta in quasi tutti i tipi di magazzini e si verifica ogni qualvolta sia necessario raggruppare pacchi, componenti, prodotti o materiali che, una volta riuniti, verranno elaborati e spediti.

L'attività di prelievo può avvenire in vari modi: dal più semplice in cui l'operatore si muove all'interno del magazzino per fare un riepilogo delle unità di prodotto, a quello più sofisticato basato su un sistema completamente automatizzato con preparazione meccanica. Ogni metodo presenta dei benefici e dei limiti. Il picking e la gestione dei carichi unitari sono strettamente legati al ciclo di approvvigionamento delle giacenze e al processo di spedizione degli ordini preparati.

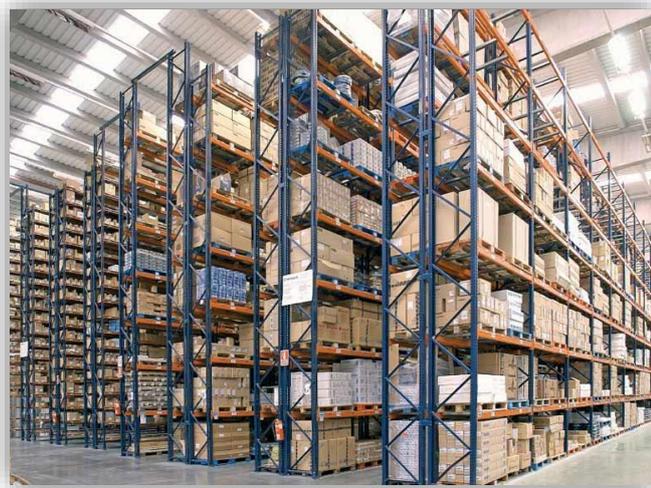


FIGURA 4 - ESEMPIO DI MAGAZZINO ATTREZZATO CON SCAFFALATURA PER PICKING

2.2 Ripercussione del picking sull'investimento

Per comprendere l'impatto finanziario di questa attività nella logistica, è sufficiente sapere che i costi del picking possono superare il 60% del bilancio totale. Gli oneri per le aziende crescono ulteriormente in presenza di un layout non ottimale o in mancanza dei sistemi di stoccaggio adeguati. A tal proposito, l'ottimizzazione delle procedure di picking è una priorità per le imprese che vogliono aumentare l'efficienza del proprio magazzino, pertanto si rende necessario uno studio su come ottimizzare tali cicli al fine di ottenere un migliore rendimento.

Una maniera per intervenire positivamente sulle procedure di picking consiste nel realizzare investimenti in tecnologia applicata. Esistono numerosi dispositivi che, seppur rappresentando un esborso iniziale, contribuiscono nel breve e lungo termine a ridurre i costi marginali delle attività di selezione e prelievo.

Quando il picking viene realizzato manualmente prelevando gli articoli direttamente dalle scaffalature, è possibile posizionare i pallet lungo i livelli di scaffalatura. Questa soluzione permette di sfruttare lo spazio in altezza e di creare una zona dedicata a unità di carico più piccole. Questa strategia risulta

vincente soprattutto nei magazzini di piccole dimensioni, o quando il volume delle operazioni è basso, visto che i pallet, stoccati nella parte superiore delle scaffalature non dovranno essere estratti di continuo.

Quando in un magazzino sono presenti prevalentemente merci a bassa rotazione è possibile realizzare il prelievo lungo l'altezza totale della scaffalatura con il mezzo di lavoro adeguato. In entrambe le modalità, indipendentemente dal livello di prelievo, si applica il principio "uomo alla merce", ovvero è l'operatore a spostarsi all'interno del magazzino in direzione delle merci. Tale logica di prelievo presenta dei costi di solito abbastanza importanti, legati alla forza lavoro, alla produttività e all'efficienza operativa. La necessità di trovare un'alternativa dipende dalla necessità di ridurre gli ordini marginali, per tanto è importante basarsi su delle analisi di diverse strategie e strumenti.

2.3 Strategie generali per il miglioramento del picking

Le strategie del picking sono legate al numero di linee di preparazione. Per ottimizzare tali linee, si ricorre a varie strategie, sistemi e dispositivi che permettono di migliorare le attività di selezione e prelievo basate sulla logica "uomo alla merce".

Vediamo nel dettaglio le strategie e soluzioni automatiche concrete per rendere più efficiente le procedure di picking:

1. È possibile installare un software di gestione del magazzino grazie al quale ottimizzare il percorso degli operatori con l'obiettivo di ridurre sia le distanze da percorrere, sia la ripetizione di movimenti. Una distribuzione ottimale del magazzino e della merce nei vani delle scaffalature agevola le operazioni di prelievo dei prodotti. Inoltre, l'uso di terminali e dispositivi a radiofrequenza (RF) o di voce picking (picking vocale) consente di fare a meno dei documenti cartacei e contribuisce a snellire ulteriormente le operazioni.
2. Sfruttare picking massivo (wave picking), termine con cui si fa riferimento alla selezione di più merci da destinare all'allestimento di

diversi ordini contemporaneamente, il batch-picking e il picking multi-ordine.

3. Investire in strutture e dispositivi pensati per dinamicizzare il picking. È il caso delle scaffalature leggere a gravità dotate di display luminosi collocati in ciascuna ubicazione che indicano da quali posizioni è possibile prelevare il prodotto e in che quantitativi. Sono differenti dai sistemi put-to-light, che invece indicano dove riunire le unità di prodotto necessarie per allestire ciascun ordine. Entrambe queste tecnologie sono fondamentali per aumentare l'efficienza operativa.

Le strategie prese in esame si basano sul “far viaggiare” gli addetti al picking verso i prodotti. Per una preparazione degli ordini senza errori, efficace e rapida, esistono anche dispositivi, sistemi e impianti pensati per articolare la logica di prelievo opposta: “merce all'uomo”. In questo caso saranno i trasloelevatori, i nastri trasportatori o i carrelli automatici AGV a portare gli articoli direttamente agli operatori che non dovranno lasciare le postazioni di picking. Quando si parla di magazzino automatico, ci si riferisce al complesso di quegli impianti e strumenti tecnologici che sono destinati a rendere i processi di stoccaggio, picking, carico e scarico merci, completamente automatizzati. Infatti, in questa tipologia di magazzino, si avranno delle scaffalature industriali robotizzate che vengono controllate attraverso un software che gestisce le fasi di immagazzinamento. In questa realtà completamente gestita da un computer vi sarà una combinazione di sistemi automatizzati che agiscono in perfetta autonomia. Uno degli aspetti principali dei magazzini automatici risulta essere il principio in base al quale i flussi logistici sono programmati in modo da spostare i prodotti verso gli operatori secondo il principio del goods-to-man. In questo modo la fase di selezione e prelievo parziale dei materiali è più veloce, dato che il picking sarà completamente automatizzato con la preparazione meccanica del prodotto e un netto miglioramento della logistica.



FIGURA 5 - MAGAZZINO AUTOMATICO VERTICALE

Tali sistemi, sicuramente più onerosi in termini di investimenti iniziali, si rivelano più redditizi nel lungo periodo, in quanto eliminano gli errori, le inefficienze e garantiscono un'operatività costante.

2.4 Il magazzino robotizzato nell'era dell'industria 4.0

Un magazzino robotizzato è un impianto in cui è stata effettuata una robotizzazione dei processi mediante l'implementazione di sistemi automatici. Il vantaggio è legato ad una gestione e controllo merci più efficiente, aumentando anche la produttività dell'impianto. Con lo sviluppo dell'industria 4.0 e della logistica 4.0 si sono iniziati a comprendere i vantaggi dell'automazione dei distinti segmenti della supply chain: fattore che viene ribadito dal susseguirsi di nuovi prototipi di robot e sistemi di stoccaggio.

Nel campo della robotica troviamo principalmente due categorie di robot. Una di queste sono i robot industriali, programmati per sostituire il lavoro manuale degli operatori. Sono principalmente adoperati per lo svolgimento di attività pesanti e ripetitive in maniera efficace e funzionano in maniera autonoma, in più sono dotati di sensori capaci di raccogliere informazioni in tempo reale. I trasloelevatori e i trasportatori a rulli appartengono a questa categoria; tali macchine possono lavorare anche in sinergia con altri sistemi.

Un'altra famiglia invece sono i cobot o robot collaborativi, che supportano il lavoro degli operatori in magazzino. Queste macchine hanno il vantaggio di essere davvero versatili dal momento che possono essere programmate per operare in maniera autonoma o assistita. I cobot risultano utili nella movimentazione dei carichi e nelle attività di imballaggio delle merci.

Sebbene i progressi nell'automazione logistica siano evidenti, il magazzino resta un luogo dove la presenza del personale è fondamentale per il completamento di attività più complesse. Quando si decide di automatizzare un magazzino bisogna individuare le soluzioni orientate ad aumentare efficienza e produttività dell'impianto senza escludere a priori la manodopera. Si considerano i seguenti elementi:

- La standardizzazione delle unità di carico.
- L'analisi dei flussi di merci e in che modo si svolge la movimentazione dei materiali.
- Quali aree del magazzino robotizzare.

Il magazzino robotizzato ha impatti positivi sui cicli operativi caratterizzati dai seguenti elementi:

- Ripetitività dei movimenti.
- Grandi volumi di operazioni.
- Movimentazione di Udc di peso e dimensioni notevoli.

Le fabbriche in cui si sfruttano soluzioni robotiche e si punta sull'automazione si convertono in Smart Factory.

2.4.1 I principali sistemi presenti nel magazzino robotizzato

I principali sistemi presenti nei centri robotizzati possono essere classificati in base alle loro funzioni.

- Prelievo e deposito merci:
 - Trasloelevatore: sistema automatico capace di prelevare e immagazzinare pallet all'interno delle strutture in maniera autonoma. Questi sistemi sfruttano dei binari collocati tra i

corridoi formati dalle scaffalature per muoversi, inoltre riducendo la distanza tra le corsie, permettono di operare uno stoccaggio intensivo delle unità di carico. Questi robot sono formati da una o due colonne verticali, una trave, un telaio mobile e una culla con forche sulla quale viene posizionato il pallet in fase di trasferimento.

- Pallet shuttle: è una navetta satellite che si muove in profondità lungo il canale delle scaffalature per prelevare i pallet stoccati sul fondo della struttura.
- Movimentazione interna delle merci:
 - Trasporti industriali: sistemi di movimentazione autonoma statici come trasportatori a nastro, a rulli o a catene che permettono la movimentazione automatica dei carichi per mezzo di circuiti di rulliere motorizzate. La loro efficacia aumenta in maniera esponenziale quando lavorano in coppia con i trasloelevatori.
 - Elettrovie: sono trasportatori aerei che svolgono la stessa funzione dei trasportatori a rulli, con la differenza che i binari non sono installati sul pavimento. Sono utili per trasportare merci leggere rapidamente e coprire medie distanze.
 - Veicoli e carrelli AGV: i carrelli a guida automatica AGV (automated guided vehicle, o LGV se emettono un segnale laser) sono capaci di percorrere in maniera autonoma i corridoi del magazzino. Sono simili ai carrelli commissionatori e dispongono di una piattaforma di carico dotata di forche.
- Robot antropomorfi:
 - Braccio antropomorfo: impiegato per pallettizzare carichi pesanti e svolgere attività di assemblaggio inserendosi nelle linee di produzione.
 - Esoscheletri meccanici: strutture robotiche che gli operatori indossano e che servono a sostenere il corpo dall'esterno, potenziandone le capacità fisiche e motorie. Servono

fondamentalmente a ridurre la fatica e a migliorare le condizioni ergonomiche degli operatori.

2.5 Il picking automatico: come disporre i robot nel magazzino

I sistemi di picking automatici contribuiscono a ridurre i costi derivanti dalla preparazione degli ordini offrendo vantaggi come la riduzione della manodopera, miglior controllo e una gestione delle scorte sfruttando lo spazio in altezza. Negli impianti in cui l'operazione di picking viene effettuata tramite mezzi automatizzati si può ovviare ai mezzi di sollevamento, ma bisogna tener conto che, per rendere massima l'efficienza di queste macchine, si lavora con merci a media rotazione e si integrano gli ordini dei pallet completi.

Quattro sono le possibili configurazioni per la disposizione di questi sistemi all'interno del magazzino:

1. Postazioni picking in testata del magazzino.
2. Postazioni ubicate nelle zone laterali del magazzino.
3. Postazioni di picking in zone adiacenti.
4. Robot speciali per il picking, come robot antropomorfi.

La soluzione 1 è indicata per magazzini di piccole o medie dimensioni, dove il picking non rappresenta l'attività principale.



FIGURA 6 - POSTAZIONE DI PICKING INSTALLATA NELLA TESTATA DI UN MAGAZZINO AUTOMATICO

La soluzione 2 presuppone l'installazione di una scaffalatura per pallet a gravità nel livello più basso della parte laterale del magazzino automatico.



FIGURA 7 - POSTAZIONE DI PICKING SU PALLET INSTALLATA NELLA ZONA LATERALE DEL MAGAZZINO AUTOMATICO

Queste postazioni possono al massimo contenere tre pallet per canale contenenti i prodotti ad alta rotazione mentre i pallet completi di riserva occupano altri vani, affinché il trasloelevatore possa riposizionarli man mano che si svuotano. L'operatore esegue il prelievo lungo il lato del magazzino automatico con l'ausilio di un transpallet. Il picking dei prodotti che presentano una rotazione più bassa, avviene nelle postazioni di picking in testata. L'operazione di picking nella parte laterale del magazzino è compatibile con i dispositivi Pick-to-light che ne agevolano il rendimento.

La soluzione 3 prevede un'area di picking a gravità per pallet su entrambi i lati di un corridoio di lavoro; tale soluzione è indicata quando si gestiscono prodotti ad alta rotazione, infatti questa scelta riduce i tempi di preparazione e di movimentazione perché si basa sull'uso di navette che alimentano i tunnel a gravità. I pallet di riserva sono collocati in un magazzino automatico con trasloelevatore, dove grazie ad un sistema di trasporti a rulli, pallet shuttle,

binari elettrificati o carrelli automatici (AVG e LGV) si garantisce la comunicazione tra questo magazzino e le navette del picking.

Una strada per rendere il picking ancora più efficiente è quella di installare dei robot speciali (soluzione 4) che agiscono a supporto dei sistemi che operano su percorso fisso. I robot utilizzati per questo tipo di procedure sono: robot antropomorfi, a portale a due assi e a portale a tre assi. Tali macchine sono in grado di mobilitare o contenitori singoli o strati completi di casse denominati manti.

- I robot antropomorfi possono ruotare a 360° e sono dotati di un braccio articolato che combina vari movimenti che emulano il braccio umano. Una caratteristica di questo robot, che lo rende anche tra i più versatili in commercio, è la possibilità di andare a modificare l'end effector, garantendo così la flessibilità per diversi tipi di operazione a seconda della necessità.

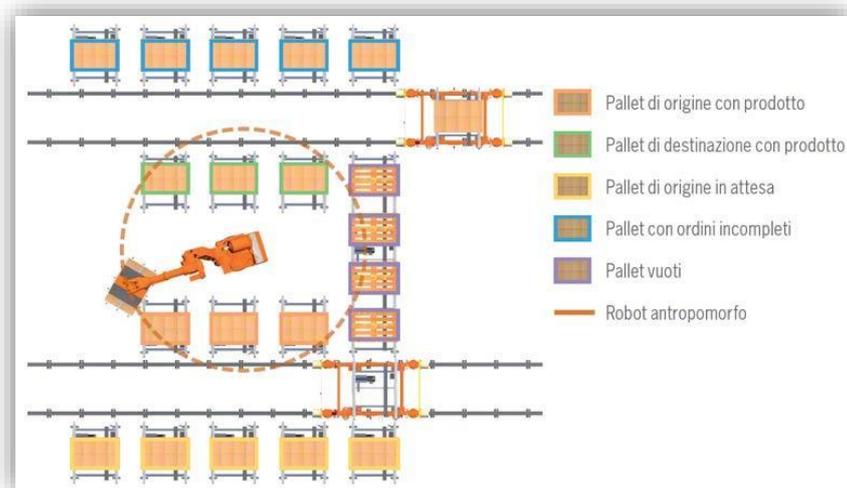


FIGURA 8 - ROBOT ANTROPOMORFO PER IL PICKING

- I portali a due assi sono dotati di un braccio rigido che prevede solo la movimentazione verticale. Il carrello sul quale è montato si sposta

orizzontalmente sul portale rendendo possibile l'accesso ad un punto qualsiasi di uno stesso allineamento.

- I portali a tre assi si spostano lungo un terzo asse permettendo così alla macchina di accedere ad una maggiore diversificazione degli ordini, con la possibilità di prepararne un numero maggiore. [1]

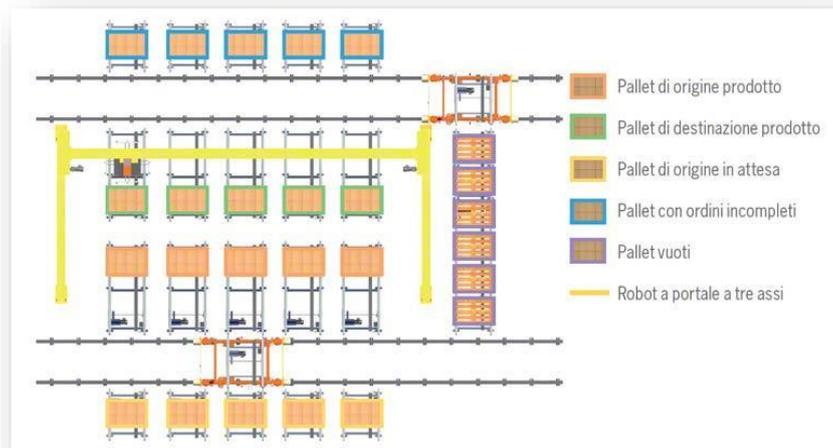


FIGURA 9 - SCHEMA PICKING PREPARAZIONE ORDINI CON PORTALE A TRE ASSI

2.6 Cosa sono gli AGV e a cosa servono

Gli AGV svolgono un ruolo fondamentale per lo sviluppo del magazzino 4.0. Sono adoperati, come già citato, per spostare, caricare, scaricare e prelevare materiale svolgendo compiti con forza e precisione che l'essere umano non potrebbe garantire. Queste macchine sono autonome per tanto non necessitano della guida di una persona e possono lavorare anche in orari notturni.

L'idea alla base degli AGV non è nuova: era il 1953 quando Arthur Mac Barret ideò il primo veicolo a guida autonoma modificando un trattore in grado di seguire un cavo attraversato da un segnale elettrico. Oggi le cose sono state migliorate, per tanto è sufficiente un solo computer dotato di un software di controllo e gestione per comandare un AGV o un'intera flotta. Sostanzialmente non esistono virtualmente limiti agli utilizzi, così come non esiste una vera e propria classificazione che determina l'identikit di ciascuna soluzione.

Analizziamo alcuni aspetti importanti di queste macchine:

- Il sistema di guida: alcuni veicoli si spostano seguendo segnali elettrici (fili sotto al pavimento) oppure ottici (bande colorate); altri si orientano con i magneti o ricevono informazioni tramite onde radio o Gps. Altri sono guidati da raggi laser.
- La portata: alcuni modelli sono in grado di sollevare quintali o tonnellate di materiale mentre altri tipi di AGV sono più compatti e quindi indicati per spazi di metratura contenuta e hanno un minor consumo energetico.
- Gli strumenti: gli AGV sono pensati per spostare pallet ma anche muovere scaffali o trascinare carrelli per tanto, a seconda della finalità, i veicoli possono prevedere un muletto, un carrello, bracci semoventi, un'unità di carico, ponti o bilancieri.

- L'alimentazione: la batteria può essere sostituita manualmente. Altri modelli garantiscono un'operatività continua grazie alla ricarica e/o sostituzione automatica della batteria. Alcuni AGV recuperano energia nelle stazioni di biberonaggio.
- La capacità di movimento: la soluzione più comune è quella di adottare ruote o binari ma in alcune soluzioni è possibile modificare i tragitti in modo dinamico attraverso software di controllo e gestione. Gli AGV ibridi possono sia funzionare in totale autonomia sia consentire controlli manuali all'occorrenza.

Caratteristiche:

- Veicolo ad elevate prestazioni.
- Rapporto capacità di carico-dimensioni migliore nella relativa categoria.
- Design modulare.
- Possibilità di implementare applicazioni multiuso.
- Possibilità di sistemi di navigazione multipli.

Vantaggi:

- La completa configurabilità garantisce il ritorno dell'investimento e riduce il costo totale di proprietà.
- Piena compatibilità con altri sistemi AGV.
- Interfaccia di programmazione intuitiva.
- Totale connettività e predisposizione per diagnostica Factory 4.0.
- Collaborazione uomo-robot in sicurezza.
- Manutenzione semplificata.
- Sicurezza ed ergonomia migliorata rispetto a soluzioni tradizionali. [2]

Si riporta in figura un esempio di AGV Agile 1500:

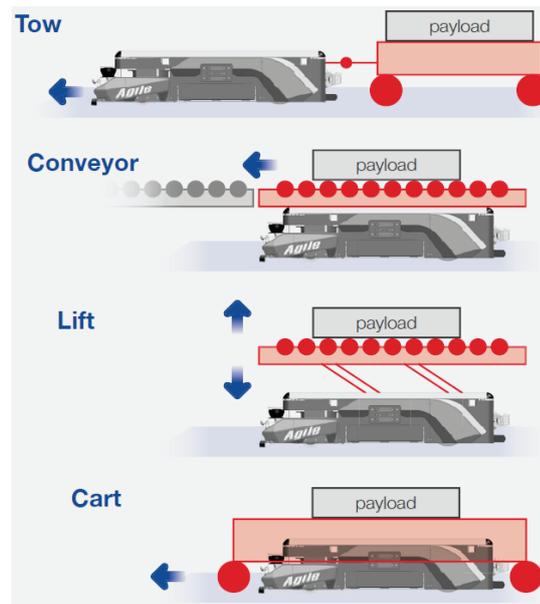


FIGURA 10 - CARATTERISTICHE FUNZIONALI

3 Composizione di pallet misti

La procedura di palletizzazione consiste nell'impilare le merci sul pallet. Tale operazione è fondamentale al fine di sfruttare al massimo la superficie del magazzino ed evitare incidenti. È essenziale che i contenitori siano raggruppati in maniera opportuna sul pallet per garantire la stabilità delle unità di carico ed evitare ribaltamenti. Per ovviare ad eventuali problematiche è buona norma utilizzare scatole di cartone le cui dimensioni siano sottomultipli di 1200 e 80 mm. Ciò permette di calcolare la superficie utilizzata dei bancali, garantendo inoltre una movimentazione più sicura dei carichi.

I criteri per cui si dispongono le scatole sul pallet sono vari ma vengono riportati due esempi:

- A scatole intrecciate:



FIGURA 11 - SCATOLE INTRECCIAE

- A scatole accatastate:



FIGURA 12 - SCATOLE ACCATASTATE

Il primo criterio, a scatole intrecciate, offre maggiore stabilità. Inoltre, è buona norma avvolgere il carico con un film estensibile per la movimentazione più sicura delle scatole. La pellicola estensibile in alcuni casi non basta a preservare il carico da una caduta soprattutto se, a causa di alcune irregolarità del suolo, il carico è sottoposto ad oscillazioni o vibrazioni. In genere si produce un movimento della parte superiore dell'unità di carico che potrebbe far ribaltare i

cartoni. Si riportano alcune immagini dove vengono messe a confronto unità di carico pallettizzate in maniera corretta e no:

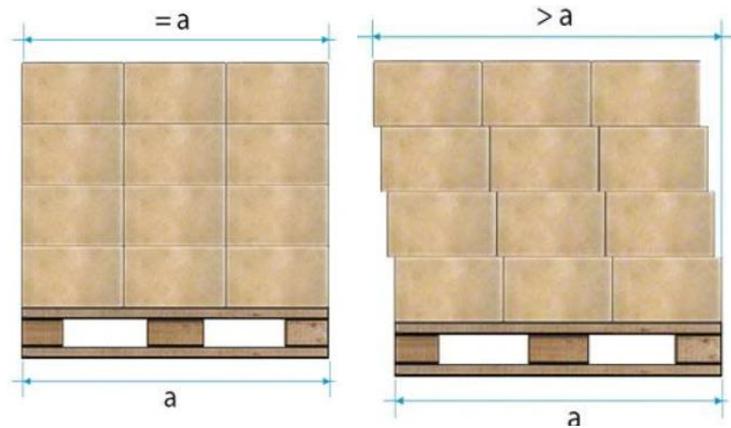


FIGURA 13 - UNITÀ DI CARICO FORMATA CORRETTAMENTE VS CROLLO LATERALE

Altri problemi sono legati alla dimensione degli imballaggi, infatti se le dimensioni di questi non sono sottomultipli del pallet su cui sono posizionati possono verificarsi due situazioni: nel primo caso il pallet non potrà essere stoccato correttamente perché esistono degli spazi vuoti che potrebbero produrre una caduta del carico.

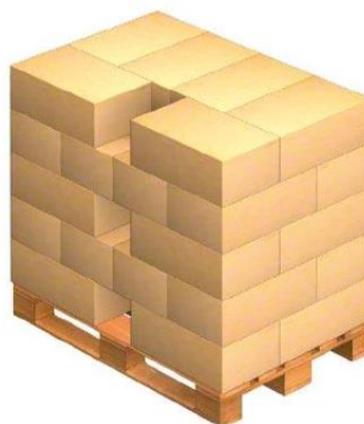


FIGURA 14 – SPAZI VUOTI TRA IMBALLAGGI

Nel secondo caso il carico sporge dal pallet [13]:

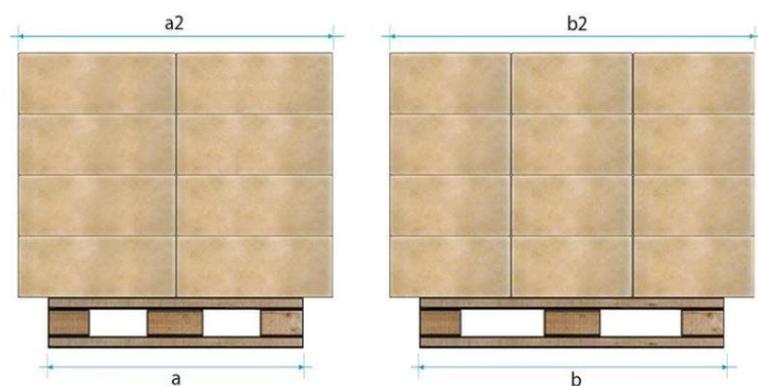


FIGURA 15 - IMBALLAGGI CHE SPORGONO FUORI DAL PALLET

Nei magazzini di grandi dimensioni, dove si movimentata una grande varietà di merci, è possibile adottare una combinazione di soluzioni per consentire lo stoccaggio misto di prodotti dalle caratteristiche differenti. Sia per gli ambienti commerciali che per quelli al dettaglio è nata la necessità di creare i così detti “pallet misti”, in cui diversi beni vengono immagazzinati e poi spediti su un singolo pallet in vari punti vendita. Ad esempio, le aree in cui la richiesta di questa tipologia di prodotto è crescente sono: negozi alimentari, minimarket e ambienti industriali. Un minimarket, ad esempio, potrebbe non aver bisogno di un pallet completo di una particolare marca di bevande analcoliche; per tanto una combinazione di bevande di diverso tipo può essere caricata sul pallet misto per poi essere spedita al negozio, andando poi a ridurre i costi di spedizione. La richiesta di questa tipologia di pallet non è così scontata e potrebbe andare poi ad aumentare il turnover dei dipendenti. Gli errori di prelievo possono essere comuni durante il caricamento di pallet misti e lo spazio dedicato allo stoccaggio di questi rappresenta un costo. I requisiti di stoccaggio legati alla creazione di questo prodotto “customizzato” sono messi a dura prova anche a causa del SKU (Stock Keeping Unit) coinvolti. Gli ordini in genere devono essere elaborati e spediti in un ciclo piuttosto breve, tenendo conto che la scelta del pallet misto può comportare un rallentamento significativo per il processo di evasione degli ordini. [3]

3.1 Differenza tra magazzino automatico e tradizionale

In un magazzino tradizionale le singole operazioni vengono svolte con carrelli elevatori guidati da esseri umani. Sarà l'operatore a gestire le merci, a posizionarle in modo che il prelievo avvenga in base alle consegne. In questa tipologia di sistema non è la merce ad andare verso l'uomo, ma il contrario, ovvero è l'operatore a spostarsi in direzione delle merci per poter compiere le operazioni di prelievo. I carrelli elevatori e le diverse tipologie di scaffalature industriali sono gli strumenti principali che vengono impiegati al fine di poter effettuare le varie fasi. Invece nei magazzini automatizzati tutto il processo avviene in maniera più rapida con un intervento robotizzato che permette all'operatore di effettuare il picking velocemente con un aumento della produttività. La logistica diventa sempre più smart perché si prevede che il lavoratore umano sarà parte integrante del sistema non più con la sua mano d'opera ma con il controllo della parte finale del processo.

I criteri di accettazione dei magazzini automatici - Caratteristiche: funzionalità, prestazioni e affidabilità

Come tutte le realtà tecnologiche i magazzini automatizzati portano a vantaggi e svantaggi nel loro impiego. In primo luogo, bisogna considerare che l'investimento iniziale è sostanzioso, ma con il passare del tempo questo verrà ammortizzato grazie ad una migliore produttività. Inoltre, l'evoluzione delle tecnologie applicate alla loro automazione ha portato a realizzare dei software sempre più efficienti e strutture molto avanzate che permettono di installare le scaffalature industriali robotizzate anche in piccole e medie aziende. La progettazione e l'installazione di un sistema moderno di logistica può portare a diversi vantaggi tra cui: funzionalità, prestazioni e affidabilità.

Funzionalità:

I sistemi automatizzati devono poter migliorare le singole fasi della logistica, dalla movimentazione delle merci al picking, dal carico allo scarico dei prodotti. Grazie ai sistemi automatizzati non si avranno più problemi in caso di gestione di pallet o di materiali che sono sfusi. Inoltre, l'impiego di strumenti robotizzati

deve permettere un'integrazione del magazzino alle altre attività aziendali come la tracciabilità delle merci, il controllo delle scorte, l'inventario in tempo reale e la programmazione delle consegne. In quest'ottica il magazzino automatizzato permette di offrire migliore qualità al cliente.

Prestazioni:

Tra i principali criteri che devono essere valutati nell'accettazione dei magazzini automatici, si deve considerare un netto incremento della competitività, grazie all'automazione. La sostituzione di un sistema tradizionale con uno automatizzato porterà un incremento della velocità delle prestazioni che vengono effettuate all'interno del magazzino. In particolare, ogni fase del flusso logistico sarà come potenziata, dallo scarico delle merci al trasporto per la consegna, dallo stoccaggio al picking. Le prestazioni del settore logistico miglioreranno con una conoscenza completa di tutte le merci presenti in magazzino, delle quantità, del peso e del volume di ogni singola unità. Si potrà inoltre guadagnare più spazio gestendo meglio il magazzino e quindi incamerando un numero di articoli maggiore con un relativo profitto aggiuntivo. I tempi per poter effettuare il prelievo della merce e prepararla alla spedizione al cliente si dimezzano, rendendo quindi più produttiva l'azienda.

Affidabilità:

Infine, si deve considerare l'accuratezza che si può ottenere grazie a un magazzino automatico. Con questo termine si considera la riduzione in modo drastico di errori che possono causare disguidi con il cliente e ritardi nelle fasi di stoccaggio. Inoltre, l'accuratezza si determina anche nella sicurezza intesa sia come salvaguardia del prodotto, che grazie agli strumenti robotizzati verrà tutelato riducendo eventuali danni dovuti allo stivaggio e al posizionamento delle merci nelle scaffalature, sia come salvaguardia della sicurezza degli operatori grazie ai sistemi di automazione. [10]

3.2 Sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e veicoli

Il sistema Crane-Based è caratterizzato da una macchina che gestisce i movimenti lungo x e y, muovendosi contemporaneamente nelle due direzioni, proprio come un trasloelevatore. In questo sistema è prevista l'installazione di uno shuttle che si muove lungo l'asse z per depositare i pallet alla profondità richiesta. Questa soluzione consente maggiore velocità nel depositare o prelevare le unità di carico mantenendo un'elevata densità di stoccaggio.

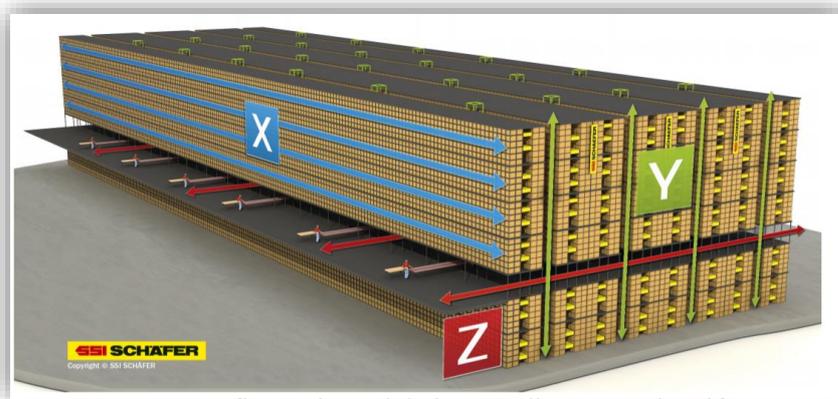


FIGURA 16 - CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI STOCCAGGIO LIFT&RUN

Il sistema AVS/RS è un sistema di movimentazione dei materiali, impiegato nell'ambito dei magazzini automatici in cui l'area di stoccaggio è suddivisa in un certo numero di corridoi, ciascuno dei quali costituito da due scaffalature parallele in cui alloggiavano le UdC. All'interno di ciascun corridoio e in corrispondenza di ciascun livello della scaffalatura sono montate delle rotaie su cui scorrono veicoli automatizzati in grado di compiere autonomamente soltanto movimenti orizzontali: tali veicoli, quindi, effettuano le operazioni di prelievo e immissione delle UdC dalle postazioni di stoccaggio. I movimenti verticali vengono effettuati da ascensori collocati in postazioni fisse lungo una delle due testate dei corridoi. Il numero di elevatori è variabile a seconda della potenzialità di movimentazione richiesta ma è comunque minore o al massimo uguale al numero di veicoli operanti nella scaffalatura. Più precisamente

possono essere definite due tipi di configurazione a seconda della posizione e del numero degli shuttle all'interno del magazzino:

- Nei sistemi AVS-RS tier to tier i veicoli possono essere trasferiti per mezzo degli ascensori da un livello della scaffalatura all'altro e l'unità movimentata dall'ascensore è sempre il veicolo, con o senza l'UdC a bordo: in altri termini, la singola UdC rimane a bordo del veicolo non soltanto durante gli spostamenti orizzontali, ma anche durante gli spostamenti verticali effettuati per mezzo dell'ascensore e, quindi, per tutta la durata del ciclo di movimentazione.
- Nei sistemi AVS-RS tier captive, invece, il singolo veicolo non può essere trasferito da un livello della scaffalatura all'altro e, quindi, è dedicato ad un solo livello. Di conseguenza, l'unità movimentata dall'ascensore è sempre l'UdC: quest'ultima rimane a bordo del veicolo soltanto durante gli spostamenti orizzontali, mentre per gli spostamenti verticali viene caricata direttamente sull'ascensore, senza l'impiego dei veicoli.

Inoltre, bisogna tenere presente che, indipendentemente dalla tipologia tier to tier o tier captive, in alcuni casi è presente un ascensore in testa a ciascun corridoio, in altri casi invece il numero di ascensori è minore del numero di corridoi: in quest'ultimo caso è indispensabile la presenza di un corridoio di collegamento, disposto in testa alle scaffalature perpendicolarmente ai corridoi di lavoro, per consentire ai veicoli di raggiungere l'ascensore più vicino.

Vantaggi:

- Flessibilità

In fase di progettazione a secondo della capacità di movimentazione richiesta è possibile decidere quanti veicoli e quanti ascensori installare all'interno dell'impianto per soddisfare il livello di prestazioni richieste, questo rende la soluzione estremamente modulare. È, inoltre, sufficiente aumentare il numero di veicoli per far fronte a variazioni di richieste di mercato. È possibile aumentare la capacità ricettiva aggiungendo sia livelli, sia corridoi senza

intervenire sulla struttura esistente. A seconda dei contesti applicativi è possibile progettare il magazzino per esigenze molto diverse tra loro, ipotizzando scenari con media utilizzazione superficiale e alta selettività sia scenari con altissima utilizzazione superficiale e bassa selettività.

- Affidabilità

In caso di guasto tecnico o manutenzione di un veicolo, il sistema permette la piena accessibilità a tutti i vani poiché tutti i veicoli sono in grado di raggiungere tutte le locazioni della scaffalatura. In questo modo risulta garantita la completa operatività del magazzino.

- Adattabilità

Contrariamente ai classici magazzini automatici la soluzione AVS/RS permette, grazie a complessi layout, una completa adattabilità anche in edifici già esistenti di diverse forme, di scarsa altezza o con elementi d'ingombro strutturali o impiantistici.

- Risparmio energetico

Grazie al peso ridotto e ai sistemi di recupero dell'energia in fase di frenata queste macchine consentono di ottenere elevate prestazioni e consumi ridotti rispetto ai tradizionali sistemi di trasloelevatori e miniload. [11]

3.3 Sistemi per creazione di pallet misto

La costruzione di un pallet inizia esaminando l'ordine che arriva ad un database in cui viene creato un elenco di istruzioni, ad esempio, come disporre i singoli elementi per creare un pallet che vada a soddisfare l'esigenza di un cliente. Questo set di informazioni, prima di essere inviato all'esecutore, che può essere un robot, deve essere verificato. Gli ordini possono essere gestiti in base alla data di consegna, filiale di vendita o percorso che devono seguire, inoltre, possono essere ordinati per numero e per tipo di prodotti necessari per riempire un ordine.

Quando si costruisce un pallet le informazioni da sapere sono: numero di prodotti che lo compongono, numero di livelli e il peso finale.

Si riportano alcuni sistemi adottati nel mercato odierno per la creazione di pallet misti:

Il MOPS (modular order picking system) è un sistema di creazione di pallet misti ad elevato grado di automazione. Partendo dall'unità di carico iniziale, si singolarizza il collo tramite un depalettizzatore automatico. L'unità di controllo viene indirizzata al sistema di stoccaggio e tramite l'intervento di un software viene determinata la composizione ottimale del pallet misto. Il miniload estrae dal magazzino i colli appartenenti al pallet misto, li indirizza ad un sistema che crea la sequenza richiesta e la invia al palettizzatore automatico. In questo sistema sono presenti le seguenti tecnologie:

- Stoccaggio pallet: trasloelevatore, FRS (fast rotation storage), navette.
- Trasporto pallet: SVL (system vehicle loop)
- Depalettizzazione: robot di smontaggio a strato con singolarizzazione del collo con sistema di visione oppure soluzioni di smontaggio manuali assistite ergonomiche ad alta produttività.
- Trasporto colli: nastri trasportatori a tappeto senza necessità di supporto, che trasportano i colli in modo sicuro, veloce e affidabile.
- Stoccaggio colli: miniload e VLS (vertical lift sequencer).
- Sincronizzazione e/o sequenziazione: sincron.
- Palettizzazione: automatica attraverso robot oppure manuale assistita.

I punti di forza di questo sistema sono:

- Unicità tecnica: il collo viene movimentato e stoccato senza bisogno di vassoi o altri supporti.
- Modularità della soluzione MOPS: permette di muovere i singoli moduli in modo da realizzare la soluzione ad hoc migliore per il caso specifico del cliente.
- Padronanza e controllo del sistema.

Tecnologia:

- Depalettizzazione: il robot smonta i pallet strato a strato e separa i colli.
- Stoccaggio pallet: trasloelevatori, FRS (Fast Rotation Storage), navette.
- Trasporto pallet: SVL (System Vehicle Loops).
- Stoccaggio colli: miniload.
- Trasporto colli: nastri trasportatori senza necessità di supporto.
- Sincronizzatore/Sequenziatore: Synchron.
- Palettizzazione: automatica (attraverso robot singolo/doppio) oppure assistita manualmente.

Il MOPS ben si presta ai settori food & beverage, retail ed E-commerce, caratterizzati da un elevato numero di SKU e da un'alta rotazione. Può essere utilizzato in diverse condizioni di temperatura all'interno dei magazzini di prodotti [4].

APPS: AUTOMATED PICK TO PALLET SYSTEM è la soluzione per l'automazione food & beverage dei processi di picking caratterizzati da un numero di SKU fino a 1000 ed un elevato numero di ordini con buona ripetitività. Nel sistema APPS, la gestione del collo singolo è delegata ad un robot antropomorfo dotato di un sofisticato sistema di visione che svolge tutte le operazioni di movimentazione e manipolazione di colli diversi (cartoni, fardelli, casse, etc.). Prelevandoli direttamente dai pallet sorgenti e componendo il pallet misto, rende l'intero processo snello, efficiente, semplice.

Le novità del sistema:

- Un sistema di alimentazione pallet (Fast Rotation Storage) che garantisce un'elevata velocità alle operazioni di picking.
- Un sistema robotizzato di movimentazione/manipolazione in grado di prelevare singolarmente oggetti dal pallet sorgente e depositarli a

formare il pallet misto grazie ad un sistema di visione laser ad elevata affidabilità.

I punti di forza di questo sistema sono:

- La semplicità di implementazione e di gestione.
- La scalabilità dell'investimento.
- La riduzione degli spazi.
- L'efficienza del picking. [5]

La soluzione SPL - STEADY PICKING LOCATION sfrutta il concetto di “merce all'uomo”, per tanto i pallet stoccati in magazzino o in aree temporanei vengono convogliati e smistati nelle varie postazioni di picking in modo sequenziale, seguendo i criteri di FIFO/LIFO, classi di impilabilità, picking inverso etc. Il pallet cliente preparato viene automaticamente reinserito a magazzino in attesa della spedizione. Questa soluzione si configura con una serie di isole di lavoro, denominate baie di picking, altamente ergonomiche ed equipaggiate con strumenti di ausilio alla presa, piattaforme elevabili e postazioni pc. La soluzione SPL è particolarmente indicata per volumi di picking medi (inferiori a 4000 colli/ora), i codici SKU sono maggiori di 300 e la presa è di circa 8/10 colli per riga d'ordine.

I punti di forza di questo sistema sono:

- Significativo incremento delle prestazioni degli operatori.
- Miglioramento delle condizioni di lavoro.
- Riduzione degli errori.
- Contenimento dei tempi di evasione degli ordini. [6]

Il sistema PPS, Pick To Pallet System, non richiede la connessione ad un sistema di stoccaggio automatico. L'operatore, addetto al picking, preleva i colli direttamente dai pallet stoccati in posizioni statiche preparando il pallet cliente a bordo del proprio transpallet. Il PPS combina i vantaggi dei sistemi “uomo alla merce” con quelli dei sistemi “merce all'uomo”. Questo sistema trova la migliore applicazione quando i volumi di picking ed il numero dei codici gestiti

SKU, sono medio elevati o variabili nel tempo, e dove il prelievo sia particolarmente frazionato (colli/riga d'ordine = $10 \div 12$). Il sistema si configura automaticamente in funzione del numero di codici da gestire e della loro frequenza di utilizzo, consentendo un risparmio di manodopera fino al $25 \div 30$ % e una riduzione considerevole dello spazio occupato. [7]

ARP-Automatically refilled picking, è basato sul concetto di “uomo alla merce”. Questa soluzione prevede l'automazione delle attività di ripristino del prodotto presente nella postazione di picking, mediante trasloelevatori, sistemi di movimentazione e trasporto o veicoli AGV. L'operatore addetto al picking prepara il pallet cliente prelevando i colli direttamente dai pallet ubicati a terra, allocati e ordinati secondo criteri di impilabilità e/o classe di rotazione, etc. Particolarmente indicato in paesi in cui il costo della manodopera non è elevato, tale sistema è idoneo per applicazioni in cui il numero complessivo di codici da gestire (SKU) è contenuto, mentre il numero di colli di picking/ora è considerevole. [8]

Il sistema Trident rappresenta una soluzione per il picking massivo. I vantaggi di questo sistema sono vari: tempi di composizione ridotti al minimo portando automaticamente la merce di fronte all'operatore, ottimizzazione degli spazi sfruttando al massimo lo spazio a disposizione senza lasciare aree vuote, aumento della produttività. Questo sistema permette di velocizzare il magazzino grazie ad un sistema rotante: la velocità di rotazione dei cesti, impostabile a seconda della tipologia di oggetti da trasportare, può variare da 18 a 30 $[\frac{m}{min}]$.

Questa soluzione è ideale per chi deve gestire:

- Grandi quantità di articoli in spazi ridotti.
- Un'alta frammentazione degli ordini.
- Prodotti di dimensioni, forme e pesi differenti, ma con la massima stabilità.
- Un elevato numero di articoli in classe di rotazione media e bassa.

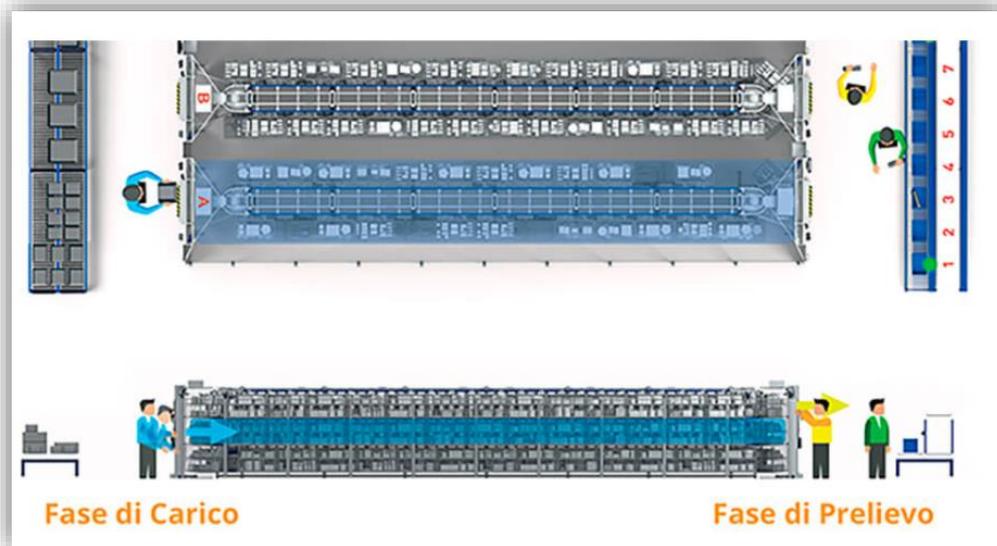


FIGURA 17 - MAGAZZINO AUTOMATICO ROTANTE

La caratteristica vincente di Trident è la possibilità di effettuare il refilling e picking simultaneo dei prodotti: mentre un operatore carica la merce su uno dei livelli, gli altri due livelli restano liberi e disponibili per essere scaricati dagli altri operatori, così da ridurre in modo significativo i tempi di composizione degli ordini.

4. La simulazione ad eventi discreti

Con il termine simulazione si intende la riproduzione del comportamento di un sistema. In generale si può far riferimento a simulazioni di modelli concreti ma anche di modelli astratti che riproducono la realtà mediante l'utilizzo di un software ma affinché ciò possa essere realizzato è necessario costruire un modello, che descrive le operazioni di un sistema e come queste devono essere simulate. Per quanto riguarda il modello, questo deve essere sufficientemente complesso per rispondere alle esigenze progettuali ed inoltre devono essere chiari i limiti di utilizzo dello stesso.

I modelli di simulazione si possono classificare in base a diversi criteri.

- modelli continui, in cui le variabili variano con continuità;
- modelli discreti, in cui il valore delle variabili cambia in istanti di tempo ben definiti.

Un'altra distinzione è tra:

- modelli statici, che rappresentano un sistema in un particolare istante di tempo;
- modelli dinamici, che rappresentano un sistema in evoluzione nel tempo.

Infine, si possono distinguere:

- modelli deterministici, che non contengono componenti probabilistici;
- modelli stocastici, che presentano elementi soggetti ad aleatorietà.

In questo paragrafo considereremo modelli di simulazione discreta, dinamici, stocastici che vengono chiamati modelli di simulazione ad eventi discreti. Molte applicazioni sono ben rappresentate da modelli di questo tipo, inoltre approssimando variazioni continue con variazioni discrete è possibile utilizzare modelli ad eventi discreti anche per approssimare il comportamento di sistemi continui semplificando l'analisi.

Nella simulazione ad eventi discreti il sistema è rappresentato, nella sua evoluzione nel tempo, con variabili che cambiano istantaneamente il loro valore in ben definiti istanti di tempo nei quali accadono gli eventi. Per tanto sarà fondamentale definire un meccanismo di avanzamento del tempo per far procedere il tempo simulato da un valore ad un altro. La variabile che in un modello di simulazione fornisce il valore corrente del tempo simulato si chiama Simulation Clock, ed esistono due modi per definire il suo avanzamento:

- avanzamento del tempo al prossimo evento;
- avanzamento del tempo ad incrementi prefissati;

Nel primo caso il Simulation Clock è inizializzato a zero. Il sistema viene aggiornato tenendo conto dell'evento che è accaduto, si aggiornano i tempi degli

eventi futuri e si itera il procedimento. A differenza dell'avanzamento ad incrementi prefissati, i periodi di inattività non vengono considerati. Un esempio può essere un sistema in cui gli eventi sono definiti dall'arrivo di un cliente e dalla conclusione di un servizio: entrambi sono eventi perché provocano il cambiamento di determinate variabili di stato. Il meccanismo di avanzamento del tempo segue l'accadere di questi due eventi nell'ordine cronologico in cui questi avvengono.

4.1 Schema dello studio di un problema basato sulla simulazione

In questo paragrafo vengono riportate le fasi che caratterizzano uno studio basato sulla simulazione:

1. **Analisi del problema:** consiste nel comprendere il problema cercando di capire gli scopi dello studio, identificare quali sono le componenti essenziali e quali sono le misure di prestazione che interessano.
2. **Formulazione del modello di simulazione:** per generare vari scenari rappresentativi di come un sistema funziona, è essenziale che una simulazione generi osservazioni casuali da distribuzioni di probabilità delle quantità di interesse; solitamente è possibile stimare tali distribuzioni studiando modelli simili già esistenti. Se dall'analisi dei dati si vede che la forma di questa distribuzione approssima una distribuzione di tipo standard, si può utilizzare la distribuzione teorica standard effettuando un test statistico per verificare se i dati possono essere rappresentati bene mediante quella distribuzione di probabilità. Nel caso in cui non esistessero modelli simili si fa ricorso a fonti come: manuali di istruzioni delle stesse, studi sperimentali etc. Costruire un modello è qualcosa di complesso, in particolare, facendo riferimento alla simulazione ad aventi discreti si seguono le seguenti fasi:
 - (a) Definizione delle variabili di stato.
 - (b) Identificazione dei valori che possono essere assunti dalle variabili di stato.

- (c) Identificazione dei possibili eventi che fanno cambiare lo stato del sistema.
 - (d) Realizzazione di una misura del tempo simulato, “simulation clock”, che registra lo scorrimento del tempo simulato.
 - (e) Realizzazione di un metodo per generare casualmente gli eventi.
 - (f) Identificazione delle transizioni di stato generate dagli eventi.
3. Analisi del modello di simulazione: nella fase di analisi del modello si verifica l'accuratezza di quest'ultimo evidenziando eventuali errori ed omissioni.
 4. Scelta del software e costruzione di un programma: dopo aver costruito il modello, esso deve essere tradotto in un programma, per tanto si può far ricorso a linguaggi di programmazione come C++, linguaggi di simulazione generali o simulatori come Flexsim o Arena.
 5. Validazione del modello di simulazione: in questa fase è necessario verificare se il modello che è stato realizzato fornisce risultati validi per il sistema in esame, per tanto si deve verificare se le misure di prestazione del sistema reale sono ben approssimate dalle misure generate dal modello di simulazione.
 6. Progettazione della simulazione: in questa fase si affrontano problematiche di tipo statico:
 - Determinazione della lunghezza del transitorio del sistema prima di raggiungere condizioni stazionarie, momento dal quale si iniziano poi a raccogliere dati se si è interessati alla misurazione delle grandezze a regime.
 - Determinazione della lunghezza della simulazione dopo che il sistema ha raggiunto l'equilibrio. Si deve tener conto che la simulazione non genera valori esatti delle misure di prestazione di un sistema, per tanto si produce, in genere, una stima delle misure di prestazione e aumentando la durata della simulazione può aumentare la precisione di queste stime.

7. Esecuzione della simulazione ed analisi dei dati: l'output della simulazione fornisce stime statiche delle misure di prestazione di un sistema.
8. Presentazione delle conclusioni: in conclusione si redige una relazione che riassume lo studio effettuato.

4.1.1 Applicazioni tipiche della simulazione e software adoperati

La simulazione è uno strumento molto flessibile e può essere utilizzato per studiare la maggior parte dei sistemi esistenti, come ad esempio:

- Progettazione e definizione delle procedure operative di un sistema di servizio.
- Gestione di sistemi di scorte.
- Progetto e definizione delle procedure operative di sistemi di produzione.
- Progetto e funzionamento del sistema di distribuzione.
- Analisi dei rischi finanziari.
- Gestione dei progetti. [9]

I software adoperati per effettuare questo tipo di simulazione possono essere vari. Andremo a descrivere alcuni di questi:

- Arena: permette di costruire modelli sperimentali posizionando dei moduli che rappresentano processi logici. Tali moduli sono collegati mediante linee che definiscono il flusso di entità da eseguire. I dati statistici come il tempo di ciclo possono essere registrati e prodotti come report, inoltre è prevista anche la lettura o l'invio di output a fogli di calcolo come Excel.
- AnyLogic: permette all'utente di combinare tre approcci alla simulazione: Simulazione ad eventi discreti, dinamica dei sistemi e agent-based. La modellazione del sistema studiato avviene graficamente ma possono essere effettuate delle estensioni al modello con codici scritti in Java.

- Flexsim: è un software di simulazione ad eventi discreti nato nel 2003. Viene utilizzato per sviluppare modelli di simulazione che studiano lo sviluppo di sistemi di automazione in ambito aziendale o problemi di riprogrammazione nella pianificazione della produzione di linee miste. Flexsim può essere esteso tramite C++, permettendo di integrare il software in sistemi che implicano la comunicazione di dati in tempo reale. Il software contiene una libreria di oggetti standard come robot a sei assi o gru guidate a rotaie permettendo di effettuare simulazione di celle robotiche nell'ambito della produzione in diversi ambiti.

5 Modello di simulazione preliminare

Il dispositivo in esame è composto da un AGV chiamato MIR-100, sul quale è montato un braccio robotico UR-3 a sei assi che effettua operazioni di picking e placing in azienda. Questi due dispositivi sono disaccoppiati ma mediante opportune modifiche come l'aggiunta di un carrello sul quale è montato l'UR-3 ed un inverter che trasforma la corrente continua in corrente alternata alimentando il robot, è possibile farli collaborare. L'immagine riportata in basso rappresenta il sistema completo.



FIGURA 18 - MIR 100 UR-3

Il braccio robotico presenta una pinza posta all'estremità ed ha un range di apertura pari a 10 cm, per tanto gli oggetti prelevati avranno dimensioni minori o uguali a 10 cm. Ovviamente l'altezza della scaffalatura, in questo caso, è stata anch'essa costruita al fine di non ostacolare il robot durante le operazioni di presa. Le scatole rappresentano i prodotti che possono essere presenti in un magazzino e variano anche in base al tipo di azienda a cui si fa riferimento, ma

l'obiettivo principale è quello di prelevare diverse categorie di oggetti dalla scaffalatura, posizionarli sul carrello del MIR-100 ed infine creare un pallet misto che andrà a soddisfare un ordine.

Per andare ad effettuare uno studio del genere è fondamentale effettuare una simulazione del problema, seguendo lo schema riportato nel paragrafo 4.1, affiancata da un esperimento reale al fine di raccogliere alcuni dati significativi:

- Tempi per il posizionamento del Mir-100 nelle posizioni di interesse;
- Tempi per effettuare le operazioni di picking e placing;
- Durata della batteria;

5.1 Formulazione del modello di simulazione e scelta del software

L'esperimento condotto descrive le operazioni di picking e placing da parte del Mir-100 Ur-3 creando due tipologie di pallet misto: con due prodotti e con quattro prodotti. Il percorso per cui è stata programmata la missione del Mir è di circa 29 metri ed è prevista la ricarica del Mir quando la batteria raggiunge una percentuale minore o uguale al 15%. Questa scelta è stata adottata a valle di alcune problematiche riscontrate per percentuali inferiori:

- Aumento degli errori relativi al posizionamento del MIR-100 su alcuni waypoint.
- Difficoltà nel portare al termine la missione a causa di collisioni involontarie.

Di seguito viene riportato il layout relativo all'esperimento eseguito.

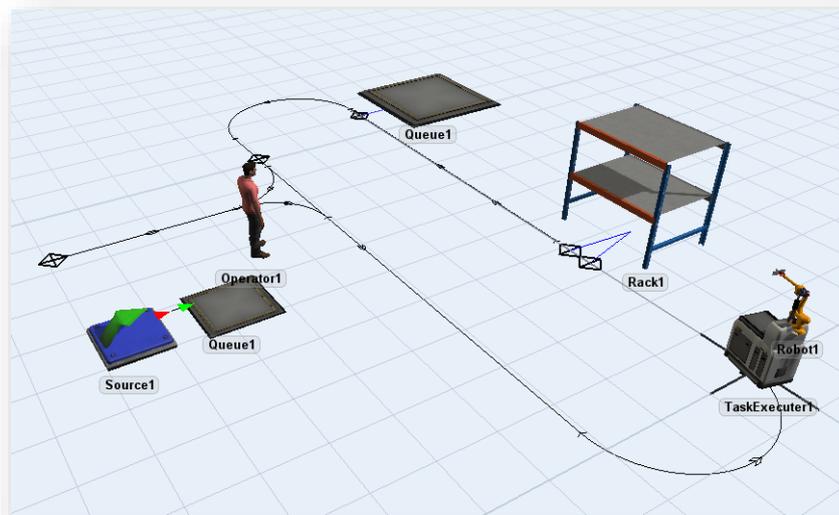


FIGURA 19 - LAYOUT AUTOMATIC WAREHOUSE

Il software utilizzato per effettuare questa simulazione ad eventi discreti prevede l'utilizzo di un task-executer che simula le operazioni del Mir e di un robot antropomorfo che simula le operazioni dell'Ur3. Il primo passo per riprodurre il comportamento reale della macchina è stato quello di assemblare nel modello il task-executer con il braccio robotico in modo che collaborassero durante le operazioni assegnate.

Poi è stato creato il percorso che il MIR-100 deve compiere. Tale percorso è caratterizzato da alcuni Control point:

1. Start Mission: è il punto previsto per iniziare la missione, dove è anche posizionato il Tasckexecuter1 in figura 10.
2. Control point: è il primo waypoint in cui il Tasckexecuter1 si ferma permettendo al braccio robotico di prelevare gli oggetti dagli scaffali per poi posizionarli sul carrello del MIR-100.
3. Control point 2: questo secondo waypoint è stato aggiunto così vicino al Control point per permettere al braccio robotico di prelevare gli oggetti dalle scaffalature evitando collisioni con la struttura ed errori di presa.

4. Unloading: in questo punto il braccio robotico effettua l'unloading degli oggetti sulla Queue che rappresenta la zona dove si vuole creare il pallet misto.
5. Check battery: qui si effettua un check sulla batteria del sistema verificando che sia maggiore del 15%. In caso contrario il Task-executer 1 va a posizionarsi sulla battery station per ricaricarsi.

Il robot poi torna sul punto Start Mission per compiere ulteriormente la missione se richiesto.

La logica con la quale è stata sviluppata la simulazione è la seguente:

Nella Source1 si genera l'ordine e la tipologia di oggetto che verrà posizionato sulla scaffalatura. Nelle proprietà della Source1 sono stati aggiunti alcuni Triggers che settano la posizione dell'oggetto sul Rack e un'ulteriore informazione che definisce il tipo di oggetto mediante una distribuzione uniforme da 1 a 3. Quindi questo sta a significare che stiamo creando un ordine che può essere composto da tre tipologie di oggetti differenti.

Gli oggetti vengono spostati da un operatore dalla Queue al Rack1. Il Rack1 presenta le seguenti dimensioni: lunghezza di 2 m, la prima scaffalatura è posta ad 1 m dal suolo mentre la seconda a 1.5 m dal suolo. Ovviamente il primo livello del magazzino, che coincide con il pian terreno, non è stato preso in considerazione perché il robot non è in grado di raggiungere quello spazio. Il Rack1 è composto, quindi, da tre livelli (di cui 2 utili), da una baia e da tre slot per baia.

Dopo che gli oggetti vengono posizionati, il Task executer inizia a muoversi e raggiunge il Control Point e viene effettuato il primo picking da parte del braccio robotico. In seguito, il Task executer riprende la sua missione ed arriva sul Control Point 2 e viene eseguito il secondo picking. Infine, il Task Executer riprende il suo percorso, raggiunge il punto di Unloading ed il braccio robotico scarica gli oggetti caricati sul carrello, per costruire il pallet misto. Il task Executer si muove con uno schema di velocità ed accelerazioni riportate in figura sottostante:

	Empty	Loaded
Acceleration	1.50	1.50
Deceleration	1	1
Forward Speed		
Straight	0.24	0.24
Curved	0.12	0.12
Spur	0.30	0.30
Reverse Speed		
Straight	0.24	0.24
Curved	0.12	0.12

FIGURA 20 - VELOCITÀ ED ACCELERAZIONE DEL MIR-100

Si può notare come sia nel caso Empty che nel caso Loaded, ha un'accelerazione di $1,5 \frac{m}{s^2}$, e una decelerazione di $1 \frac{m}{s^2}$. La velocità su percorsi rettilinei è di $0,24 \frac{m}{s}$, mentre in curva si può notare come la velocità si dimezza a $0,12 \frac{m}{s}$. Questi valori di velocità sono stati ricavati andando ad effettuare delle misurazioni nel caso reale relative al tempo impiegato dal MIR-100 per compiere un determinato percorso. Per tanto mediante una media aritmetica si è cercato di stabilire un valore plausibile di velocità per i differenti tipi di percorso (rettilineo o curvo).

Gli scenari analizzati sono due:

1. Scenario 1: due scatole prelevate dal robot e i tempi relativi al compimento della missione sono riportati nella tabella sottostante:

TABELLA 1 - SCENARIO COLLII

	Rep 1	Rep 2	Rep 3	Rep 4	Rep 5
Scenario 1	237.00	236.93	237.12	237.19	237.00

Questo scenario è stato ripetuto cinque volte ottenendo dei risultati prossimi tra loro.

2. Scenario 2: vengono prelevate quattro scatole ed i tempi di esecuzione aumentano come si può osservare nella tabella sotto riportata:

TABELLA 2 - SCENARIO 4 COLLI

Scenario 2	303.09	302.76	303.15	303.03	302.84
------------	--------	--------	--------	--------	--------

Questi risultati ottenuti dipendono dal numero di scatole che l'operatore dovrà posizionare sugli scaffali e dalle prestazioni della macchina, in termini di velocità e accelerazione.

I tempi impiegati dall'operatore per prendere gli oggetti, caricarli su un eventuale carrello elevatore e posizzionarli sullo scaffale sono: 15,71 secondi circa per due oggetti e 33,75 secondi per quattro oggetti. Ovviamente, anche per questo processo, al fine di ottimizzare i tempi si adottare una logica automatizzata ma non andremo ad approfondire tale aspetto in questa tesi.

5.2 Andamento dello state of charge del Mir-Ur

L'alimentazione del Mir è caratterizzata da una batteria Li-NMC, 24 V, 40 Ah, con tempi di ricarica che differiscono a seconda della ricarica con cavo o con stazione: nel primo caso i tempi di ricarica sono 0-80% in circa tre ore, mentre con stazione di ricarica, i tempi si riducono a circa due ore ricaricando la macchina della stessa percentuale.

Il decremento della percentuale della batteria dipende dalle condizioni in cui esso opera e nel nostro caso il braccio robotico è alimentato dalla batteria del Mir; da alcuni esperimenti svolti in precedenza su questa macchina, si evince che quando il robot è attivo la batteria diminuisce con una velocità tre volte superiore a quando il Mir opera da solo. Le condizioni di carico influiscono poco sull'andamento della batteria che avrà un comportamento, in funzione del tempo, lineare decrescente.

Sperimentalmente è stato osservato il comportamento del Mir al diminuire della batteria, arrivando ad alcune conclusioni: quando la percentuale della batteria scende al di sotto del 15% circa, il Mir commette più errori di posizionamento, influenzando negativamente l'operazione di presa compiuta dal braccio robotico. Per ovviare a questo problema è stata prevista, nel modello in Flexsim, una stazione di ricarica.

5.3 Formulazione dell'esperimento reale

L'esperimento reale è stato condotto nel laboratorio del Politecnico di Torino posizionando, nel corridoio del LEP, una scaffalatura lunga 2 m ed alta circa 1,50 m:



FIGURA 21 - RACK ESPERIMENTO REALE

L'esperimento è stato eseguito seguendo quanto descritto nel paragrafo 5.1, per tanto sono stati analizzati i due scenari per la creazione del pallet misto: con due oggetti e con quattro oggetti.

Gli oggetti utilizzati durante l'esperimento sono dei cubi di legno lunghi circa 8 cm, alti 8 ÷ 10 cm e spessore che varia fino a 10 cm. Questa scelta, relativa alle dimensioni modeste delle scatole, è giustificata dal fatto che il robot è dotato di una pinza (gripper) che ha un range di apertura che va da 0 a 10 cm.

Il primo step è stato quello di effettuare la mappatura del corridoio del LEP mediante dei sensori ottici installati sul Mir.

Su tale mappa, importata su una dashboard, sono state definite delle barriere per evitare collisioni o per evitare che il Mir passi per zone indesiderate ed infine vengono definiti dei waypoints, cioè dei punti in cui il Mir si ferma per un

determinato lasso di tempo. I nostri waypoints corrispondono a punti precisi in prossimità del magazzino, in particolare:

- Waypoint 1: il Mir parte dalla posizione di start mission (inizio corridoio) e dopo pochi secondi arriva in prossimità della scaffalatura.
- Waypoint 2: questo waypoint dipende dal tipo di scenario che stiamo andando ad analizzare. Nel caso in cui gli oggetti da prelevare sono due ed il robot riesce a prelevarli senza problemi di collisione dalla posizione di waypoint 1, allora waypoint 2 può essere omesso. Ma nel caso in cui devono essere prelevati due o più oggetti posti in punti difficili da raggiungere occorre inserire nella mission del Mir anche questo waypoint.
- Waypoint 3: dopo aver effettuato la presa degli oggetti, il Mir raggiunge la posizione prevista per l'unloading ed il braccio robotico dispone gli oggetti su un eventuale piano al fine di simulare un pallet misto.
- Waypoint 4: il Mir torna nella posizione di start load.

Queste operazioni sono state inserite nella dashboard del Mir creando una missione chiamata: automatic_warehouse.

Come già è stato detto, il Mir può commettere errori relativi al posizionamento, ciò significa che ad esempio se la distanza tra la scaffalatura ed il robot deve essere \geq a 50 cm, quest'ultimo può avvicinarsi o meno all'obiettivo con un errore di alcuni centimetri. Per ridurre il più possibile questo fenomeno, sono stati inseriti dei breaks cioè delle pause di circa due secondi a cavallo di ogni operazione per rendere più precisi i movimenti.

Nell'ultimo step è stata effettuata la programmazione del braccio robotico per compiere le operazioni di carico e scarico. L'Ur3 presenta un'interfaccia user friendly, quindi mediante uno schermo touch è possibile programmare i movimenti del braccio robotico. La logica di programmazione è del tutto diversa da quella tradizionale: in pratica si preme un pulsante posto dietro lo schermo di programmazione e si può muovere manualmente il braccio robotico, impartendo così la posa desiderata. Questa logica è stata scelta, rispetto a quella

della cinematica diretta ed inversa, perché non è stato previsto l'utilizzo di una fotocamera per il rilevamento della posizione degli oggetti. Questo ci fa ben capire che per effettuare con successo l'esperimento, le scatole devono essere poste sulla scaffalatura in una posizione che il robot conosce.

Di seguito vengono riportate alcune immagini relative alle operazioni eseguite dall' UR3 durante l'esperimento:

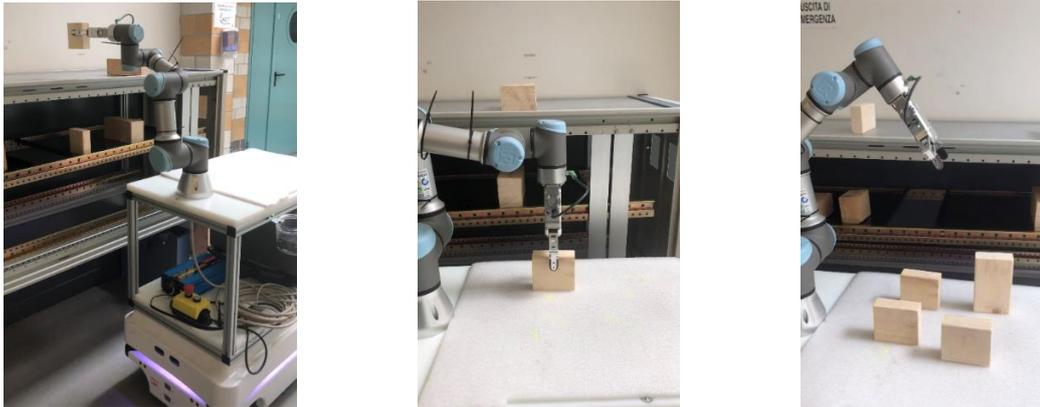


FIGURA 22 - PICKING AND PLACING UR3

A seconda dello scenario che si sta analizzando le operazioni di picking si riducono. Per quanto riguarda l'unloading, segue la stessa logica sopra descritta. È riportata un'immagine che descrive il processo:



FIGURA 23 - UNLOADING

5.4 Analisi dei dati

È stata effettuata l'acquisizione dei tempi relativi all'esecuzione del processo di picking and placing svolta dall'AGV nei due scenari.

Di seguito si riportano in tabella i risultati ottenuti:

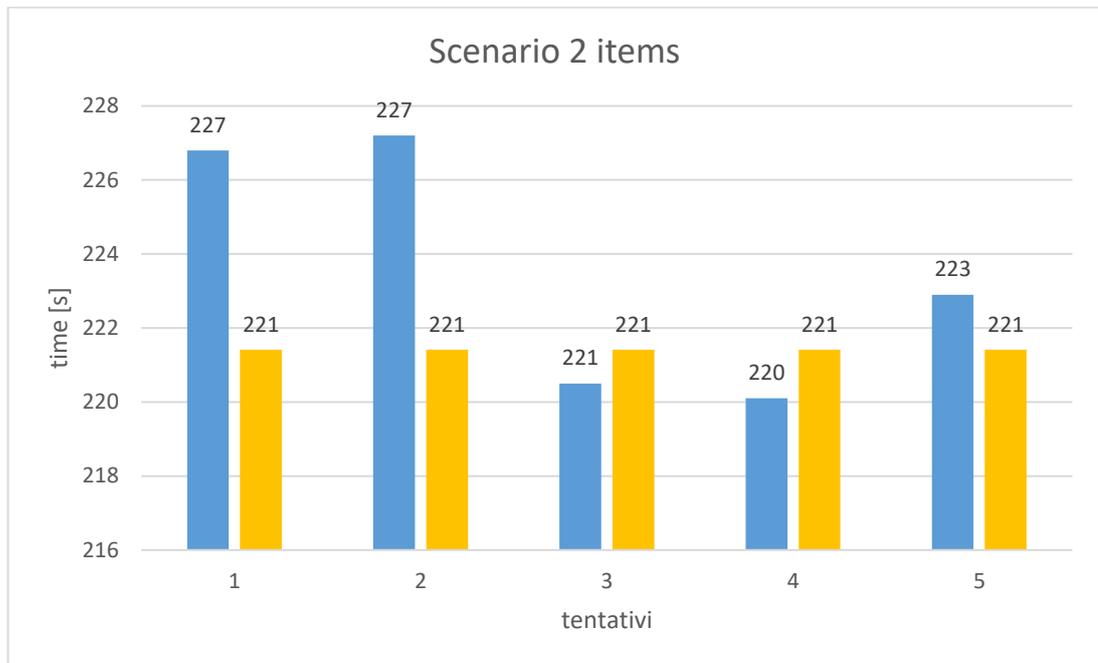


FIGURA 24 -SCENARIO 2 COLLI

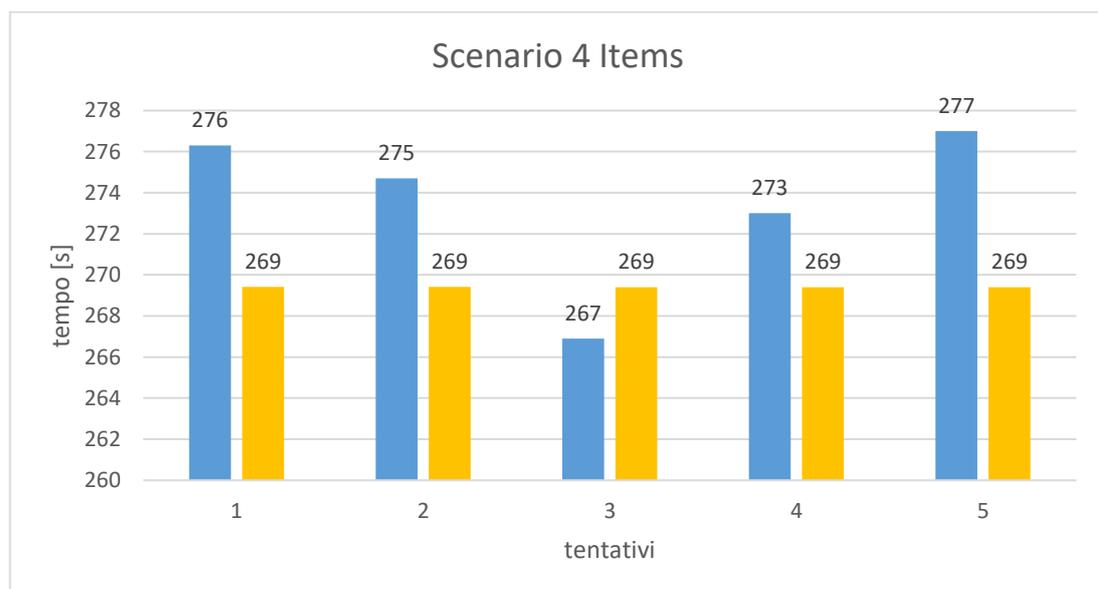


FIGURA 25 – SCENARIO 4 COLLI

Sulle ascisse di questi due grafici sono riportati i tentativi effettuati per svolgere la missione. In blu sono riportati i tempi di svolgimento dell'esperimento mentre in giallo quelli della simulazione. La discrepanza dei risultati che si può osservare maggiormente nei tentavi 1, 2 e 5 è dovuta al fatto che quando il Mir compie la missione torna nel punto di start mission e assume una certa orientazione nello spazio. Quando riparte, ovviamente impiega un certo lasso di tempo per trovare l'orientazione ottimale. Per questo motivo si può osservare una discrepanza che va da 8 a 6 secondi tra i tempi in blu e quelli in giallo.

Infine, sono stati misurati i tempi che il braccio robotico impiega per effettuare l'unloading:

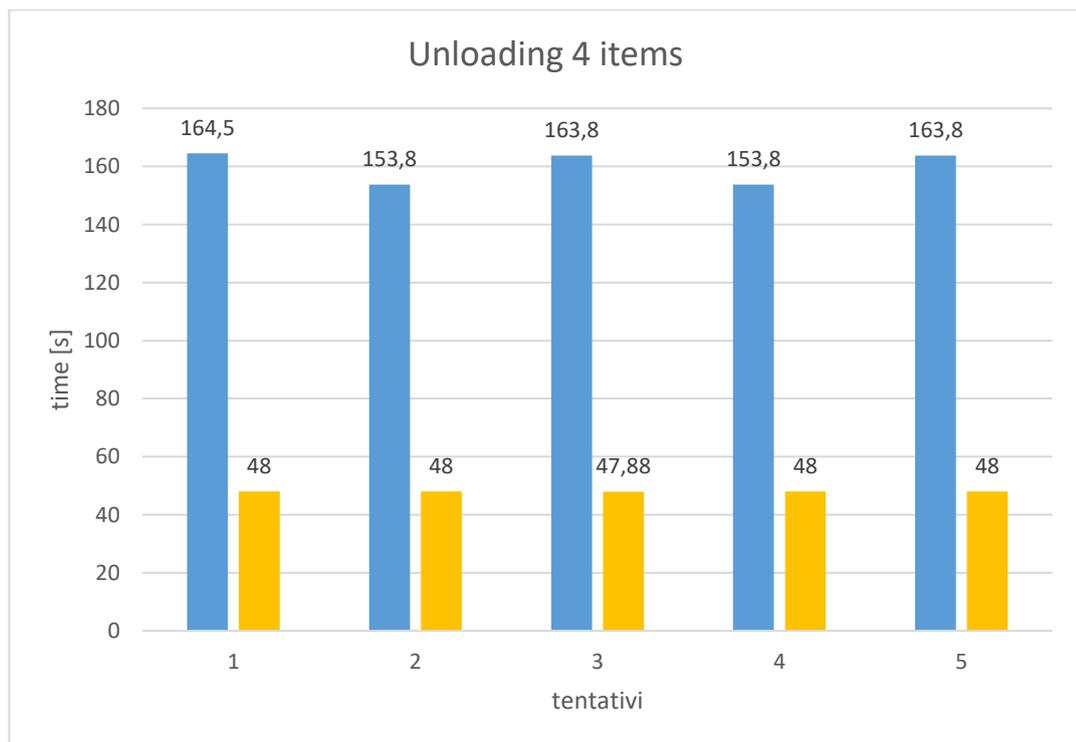


FIGURA 26 - UNLOADING

La notevole differenza tra i tempi è dovuta al fatto che nel simulatore non è possibile modificare la velocità con cui il braccio robotico esegue l'operazione. Inoltre, uguagliare i movimenti per il picking nell'esperimento e nella

simulazione risulta una procedura molto complessa. Per tanto si è scelto di validare l'esperimento facendo combaciare i tempi totali relativi al completamento dell'esperimento con quelli della simulazione.

6 Caso aziendale

Come caso studio è stata effettuata la modellazione del sistema per un'impresa specializzata nella progettazione, realizzazione e manutenzione di impianti tecnologici: l'Elci impianti S.r.l. Tale studio è realizzato mediante Flexsim e uno dei primi step, per creare un modello fedele alla realtà, è stato reperire dati direttamente dall'azienda.

Il magazzino dell'azienda è caratterizzato da due piani collegati mediante delle scale, infatti al primo piano vengono stoccate le merci ingombranti e con un peso medio alto, mentre al secondo piano le scaffalature contengono oggetti che vengono richiesti con minor frequenza e più leggeri. Per semplicità è stato modellato sul software solo il piano terra, anche perché il Mir non è in grado di muoversi su superfici irregolari come gli scalini.

Il modello riporta 22 scaffalature, ciascuna con 4 baie, 4 livelli e 2 slot per baia. Il primo livello di ogni rack, a partire dal basso, è stato reso non disponibile allo stoccaggio merci perché il braccio robotico non riuscirebbe a raggiungere gli oggetti in quella posizione.

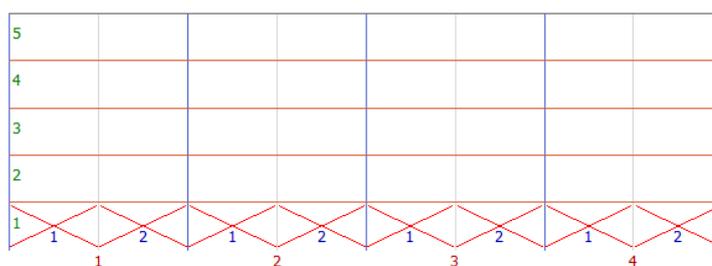


FIGURA 27 - SCHEMA DI UN SINGOLO RACK

Ogni corridoio ha una lunghezza di circa 15 metri mentre gli scaffali hanno altezze variabili, ma per semplicità si è approssimata l'altezza di ciascuno pari a 2 metri. Si ottiene quindi il seguente layout del magazzino, dove i blocchi grigi tra gli scaffali rappresentano i pilastri della struttura.

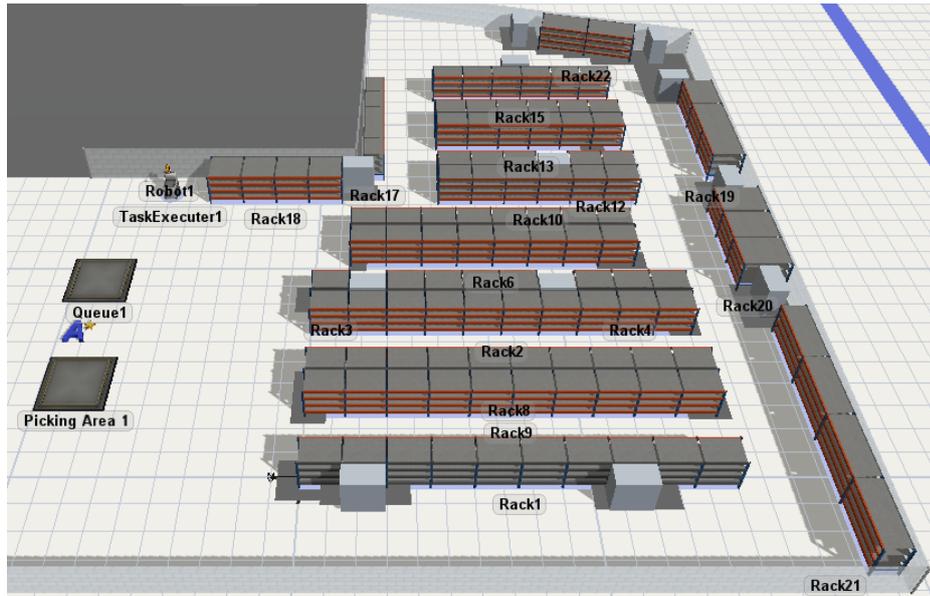


FIGURA 28 - LAYOUT MAGAZZINO ELCI IMPIANTI

La logica con la quale le merci vengono posizionate sulla scaffalatura è: first slot with space. In pratica, mediante un ciclo *for* gli oggetti, denominati con il token *Item*, vengono allocati sul rispettivo rack di assegnazione, nel primo slot libero.

```

Storage.Object current = ownerobject(c);
Object item = param(1);
Storage.Item storageItem = Storage.Item(item);
/**popup:SlotByCondition*/
/**First Slot with Space*/
for (int i = 1; i <= current.bays.length; i++) {
    Storage.Bay bay = current.bays[i];
    for (int j = 1; j <= bay.levels.length; j++) {
        Storage.Level level = bay.levels[j];
        for (int k = 1; k <= level.slots.length; k++) {
            Storage.Slot slot = level.slots[k];
            int mustHaveSpace = /**\r\nMust Have Space: *//**tag:mustHaveSpace*//**/1/**/;
            if (mustHaveSpace && !slot.hasSpace(item))
                continue;
            int condition = /**\r\nCondition: *//**tag:condition*//**/true/**/;
            if (condition) {
                storageItem.assignedSlot = slot;
                return 0;
            }
        }
    }
}

```

FIGURA 29 - STORAGE ITEM

L'assegnazione degli *Items*, ai rispettivi *rack*, è effettuata nella sezione *Toolbox-ColorPalettes-SkuPalette*. In pratica, tramite dei dati raccolti dalla giacenza del magazzino, è stato possibile associare a ciascun oggetto un colore, per tanto abbiamo 110 colori che rappresentano le differenti categorie di oggetti presenti nel magazzino. A ciascun rack è stato associato un determinato colore affinché

l'oggetto, associato a tale colore, venga collocato al posto giusto da un operatore o tramite un sistema automatizzato.

6.1 Initialization warehouse

In questa sezione del Process Flow, vengono creati gli oggetti e posizionati, tramite la logica su detta, nel magazzino.

Si riporta di seguito lo schema logico che verrà analizzato nel dettaglio:

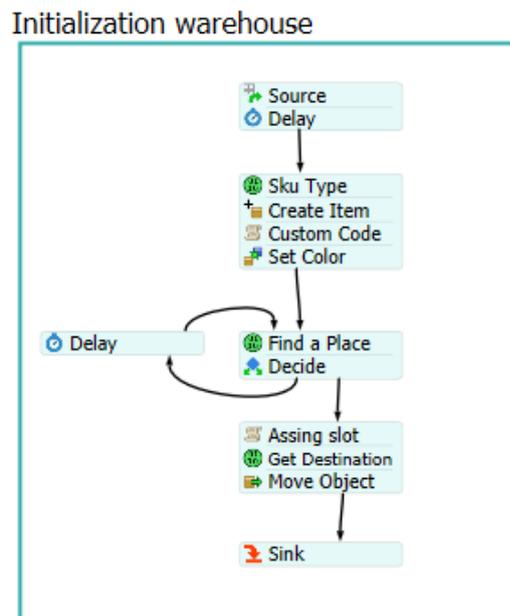


FIGURA 30 - INITIALIZATION WAREHOUSE

Nella *Source* viene generato gli oggetti che andranno a riempire il magazzino. Tale quantità ovviamente può variare in base alla tipologia di azienda, ma in questo caso si sono stimati circa 5000 Items.

In *Sku Type* viene assegnato un label a ciascun token contenente due informazioni:

- SKU: che prende un valore casuale, da una distribuzione uniforme, tra le 110 categorie di oggetti differenti.
- ID: informazione relativa al nome dell'oggetto.

Si generano quindi, tramite il comando *Create Item*, le boxs sulla *Queue1* con le due informazioni su dette ed in più si aggiunge quella relativa al *time*, cioè il tempo in cui un determinato oggetto è nel magazzino.

Successivamente il comando *Set Color* assegna a ciascun *Item* il colore in base all'informazione definita nella voce SKU e tramite una sorta di ciclo for, ogni oggetto viene spostato automaticamente dalla *Queue1* sui vari rack. Ovviamente se una scaffalatura risulta essere piena, l'oggetto non trova il corrispondente slot libero, quindi passa per un *Delay*, aspettando che si liberi uno spazio disponibile. I comandi *Assign slot* e *Get Destination* assegnano a ciascun *Item* l'informazione del percorso da seguire per la corretta allocazione ed in seguito grazie al *Move Object*, gli oggetti vengono spostati fisicamente nelle posizioni stabilite. Si riporta il modello una volta eseguita tale sezione del Process Flow:



FIGURA 31 - ALLOCAZIONI DELLE MERCI IN MAGAZZINO

6.2 Logica di movimentazione del task executer

Abbiamo già accennato nei paragrafi precedenti che il sistema utilizzato per svolgere le operazioni di picking è costituito da due sistemi che lavorano insieme. Nell'esperimento effettuato in laboratorio, illustrato nel Capitolo 5, abbiamo modellato il Mir e l'Ur sul software con un task executer e braccio robotico come in figura:



FIGURA 32 – TASK EXECUTER

Al *TaskExecuter1* è stato assegnato un limite di velocità, concorde con le specifiche del Mir, pari a $0,18 \frac{m}{s}$, mentre la logica per la quale quest'ultimo si muove, compiendo la missione, risulta differente rispetto a quella usata nella simulazione dell'esperimento in laboratorio. Il Mir è dotato di alcuni sensori in grado di scannerizzare il layout del magazzino nel quale lavora ed inoltre evitano le collisioni con cose o persone che si presentano durante le operazioni da compiere. La logica di movimento del *TaskExecuter1* è quella dell'A*-navigator: in pratica il *TaskExecuter1* viene collegato a tutti i rack, mediante il comando `ConnectObject`, in modo da poter elaborare automaticamente il percorso più breve e rapido da seguire per compiere la missione. Gli oggetti a cui è collegato rappresentano delle barriere in modo da evitare la collisione con queste. Sono state aggiunte anche altre barriere in grigio sul pavimento per evitare percorsi indesiderati durante l'esecuzione della simulazione.

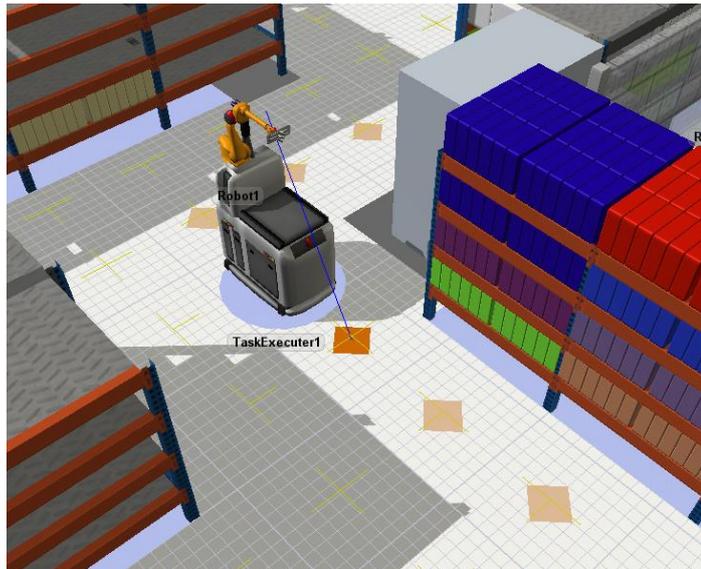


FIGURA 33 - A*NAVIGATOR

Come si può osservare dall'immagine, il *Taskexecutor1* elabora dei collegamenti automatici con i rombi arancioni sul suolo, che rappresentano il riferimento da seguire, per arrivare al punto assegnato. Questa funzione, a differenza della logica del percorso definito mediante dei waypoints utilizzata nella simulazione dell'esperimento iniziale, porta dei vantaggi su due aspetti: utilizzo di un numero minore di oggetti nel simulatore (ottimizzazione della memoria del pc) e scelta di un percorso randomico che rispetti il vincolo di tempo più breve impiegato per svolgere l'operazione.

6.3 Generation Orders

Prima di analizzare la parte di Process Flow che descrive come gli ordini sono generati, è stata effettuata una raccolta dati, fornita dall'azienda, per conoscere il numero di ordini da evadere in un giorno e la tipologia di oggetti più utilizzati per soddisfare questi ultimi. Su un'analisi di 30 commesse si evince che gli articoli richiesti con maggior frequenza per soddisfare un ordine sono:

- Guanti da lavoro in lattice bianco.
- Nastro isolante.
- Fascette pvc per cablaggio.
- Detergente igienico.
- Igienizzante per superfici.

- Guanti da lavoro in nylon.

Mediante l'utilizzo di Matlab è stata creata una distribuzione che va ad approssimare in maniera fedele l'andamento degli ordini: il primo ordine è caratterizzato da 1 oggetto, il terzo da 2, il quarto da 4 ecc. La frequenza assoluta indica quante volte viene ripetuto un ordine di quelle dimensioni mentre la frequenza relativa rappresenta la probabilità con la quale un ordine, di quella determinata dimensione, viene richiesto. Si riporta la tabella ricavata su Excel dai dati delle fatture aziendali:

TABELLA 3 - ORDINI ELCI

# ORD.	dimensione ordine	freq. assoluta	freq. Relativa
1	1	9	30%
2	1	3	10%
3	2	1	3%
4	4	6	20%
5	15	2	7%
6	5	2	7%
7	1	1	3%
8	10	0	0%
9	2	2	7%
10	4	1	3%
11	4	0	0%
12	5	1	3%
13	3	0	0%
14	6	0	0%
15	12	1	3%
16	24	0	0%
17	7	0	0%
18	6	0	0%
19	9	0	0%
20	9	0	0%
21	1	0	0%
22	4	0	0%
23	4	0	0%
24	1	1	3%
25	1	0	0%
26	1	0	0%
27	2	0	0%
28	1	0	0%
29	1	0	0%
30	4	0	0%

Questa tabella è risultata utile come dato di input per creare in Matlab un istogramma normalizzato. Mediante la funzione *distribution fitter* è stato possibile osservare quale curva approssimasse meglio l'andamento degli ordini. Come si evince dalla figura 6.8, la curva che descrive in maniera fedele l'andamento degli ordini è la Gaussiana Inversa.

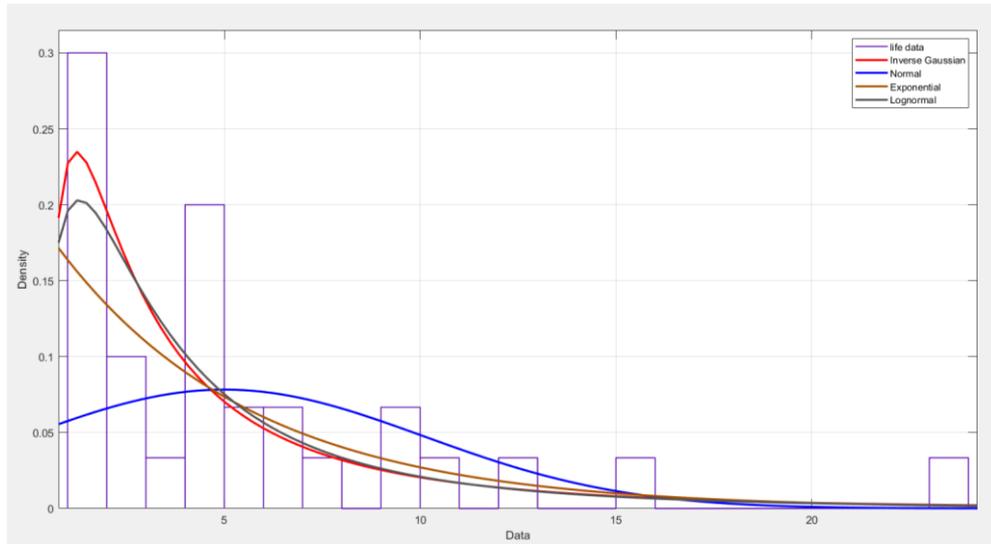


FIGURA 34 - DISTRIBUTION FITTER

Lo schema logico nel quale viene creato un ordine randomico, in base a quanto elaborato in precedenza, è il seguente:

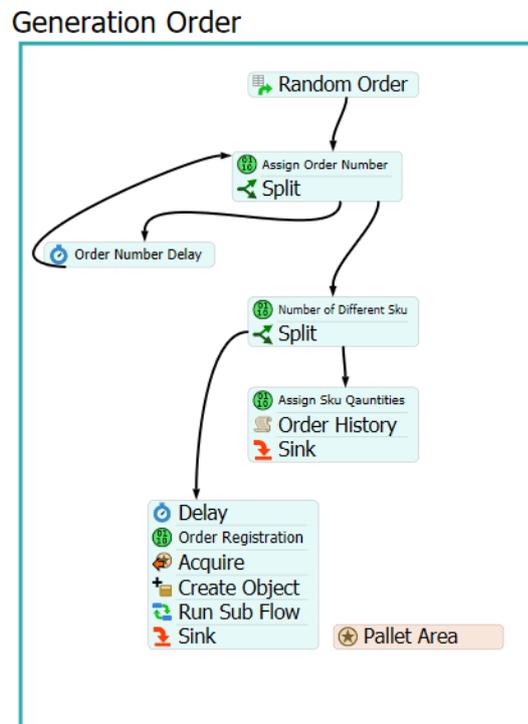


FIGURA 35 - GENERATION ORDER

A partire da un certo istante di tempo definito nel comando *Random Order*, in particolare nella voce Time, viene richiamato il parametro *time random order* dalla tabella denominata *Global Parameters*. Inizialmente questo parametro è settato a 50 secondi ma in base alle esigenze aziendali può essere modificato.

Si riporta di seguito la tabella dove sono indicati i parametri che possono essere modificati in base al caso studio:

TABELLA 4 - GLOBAL PARAMETERS

num_mininimo oggetti differenti	5
numero massimo di oggetti differenti	32.18
numero min di qty ord	1
numero max di qty ord	3
order number delay	70
time random order	50

- num_mininimo oggetti differenti: rappresenta la media calcolata dalla distribuzione della Gaussia Inversa.

- numero massimo di oggetti differenti: rappresenta la varianza calcolata dalla distribuzione della Gaussiana Inversa.
- numero min di qty ord: rappresenta il numero minimo di oggetti di una categoria che compongono l'ordine.
- numero max di qty ord: rappresenta il numero massimo di oggetti di una categoria che compongono l'ordine.
- order number delay: è il tempo che intercorre tra un ordine ed un altro.
- time random order: rappresenta l'istante temporale in cui iniziano ad essere generati gli ordini.

In *Assign Order Number* si assegna ad ogni ordine un numero che viene incrementato ogni volta di un'unità. Tale comando è collegato all'*Order Number Delay* impostato a 70 secondi. Il comando *Split* manda l'informazione al *Number of Different Sku* nel quale vengono aggiunte due informazioni:

1. *DifferentSku*: in cui viene richiamata l'informazione di media e varianza calcolate in precedenza su Matlab.
2. *OrdTime*: informazione relativa al tempo in cui viene generato un determinato ordine.

In pratica il punto 1 è stato implementato con un *Custom Code* che richiama la distribuzione della Gaussiana Inversa in modo che ogni ordine venga creato seguendo questa distribuzione per tanto, facendo riferimento all'istogramma di figura 6.8, la probabilità che un ordine abbia dimensione 1 sarà dell'30%, di dimensione 4 del 20% e così via. Si riporta lo script che permette quanto detto:

```

1 Object current = param(1);
2 treenode activity = param(2);
3 Token token = param(3);
4 Variant assignTo = param(4);
5 string labelName = param(5);
6 treenode processFlow = ownerobject(activity);
7 double N=inversegaussian(0,Table("Global Parameters")[1][1],Table("Global Parameters")[2][1]);
8 double N_arr=round(N);
9 return /**/ N_arr/**direct*/;

```

FIGURA 36 - CODICE IN DIFFERENT SKU

Tramite il comando *Split*, l'informazione arriva al comando *Assign Sku Quantity* in cui viene generato un array per ogni ordine contenente al suo interno quattro colonne:

1. OrdNumb: in cui è definito il numero progressivo degli ordini.
2. SkuOrd: all'interno delle parentesi graffe ci sono dei numeri che corrispondono alla categoria richiesta per soddisfare quell'ordine.
3. QtyOrd: definisce, per ogni categoria di oggetto richiesto, la quantità da prelevare dai rack.
4. Ordtime: informazione relativa al tempo in cui è partito la composizione dell'ordine.

Si riporta la tabella generata per cinque ordini illustrando come andrebbe letta:

TABELLA 5 - ORDER HISTORY

OrdNumb	SkuOrd	QtyOrd	Ordtime
1	Array[1]: {25}	Array[1]: {1}	50
2	Array[5]: {92, 40, 30, 71, 20}	Array[5]: {1, 2, 3, 5, 4}	54.50
3	Array[3]: {74, 83, 62}	Array[3]: {2, 1, 4}	140.68
4	Array[3]: {5, 62, 93}	Array[3]: {1, 3, 2}	147.27
5	Array[1]: {97}	Array[1]: {1}	207.85

Esempio su come leggere la tabella 3: ordine numero 3, composto da 2 oggetti del tipo 74, 1 del tipo 83 e 4 del tipo 62. 140,68 sono i secondi che indicano quando arriva tale ordine all'esecutore.

Quando la composizione del pallet misto è completata, i dati relativi al tempo di completamento vengono inseriti in una tabella chiamata *Order History Complete* che riporta due colonne:

1. OrdNumb: indica il numero dell'ordine a cui si sta facendo riferimento.
2. CompTime: tempo di completamento dell'ordine.

TABELLA 6 - ORDER HISTORY COMPLETE

OrdNumb	CompTime
1	107.17
2	511.67
3	723.25
4	905.56
5	954.59

Ad esempio, facendo riferimento all'ordine numero 3, descritto in precedenza, si nota che è stato completato al secondo 723,25.

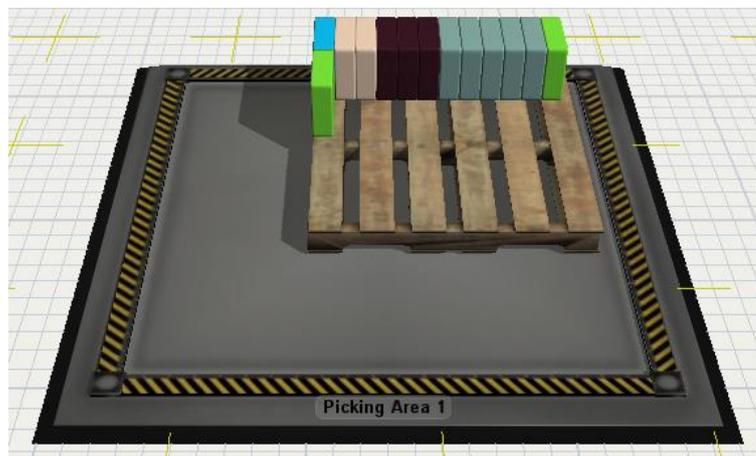


FIGURA 37 - PALLET MISTO

In figura 6.11 si può vedere un pallet misto composto da 5 differenti tipologie di oggetti.

6.4 Mir-Ur3 travelling

In questo paragrafo è spiegata la logica con la quale vengono eseguite le operazioni di picking e placing da parte del Mir-Ur al fine di creare un pallet misto. Fino ad ora abbiamo modellato sul software tutte le informazioni necessarie che devono essere poi inviate al *TaskExecuter1* affinché questo esegua correttamente la sua missione. Nella realtà è possibile settare il Mir-Ur3 per compiere questo tipo di operazioni. In particolare, il Mir è dotato di una piattaforma on-line che permette di creare una missione, mentre l'Ur3 dispone

di una sorta di tablet per la programmazione dei suoi movimenti. La sequenza di comandi su Flexsim, che permette quanto detto è la seguente:

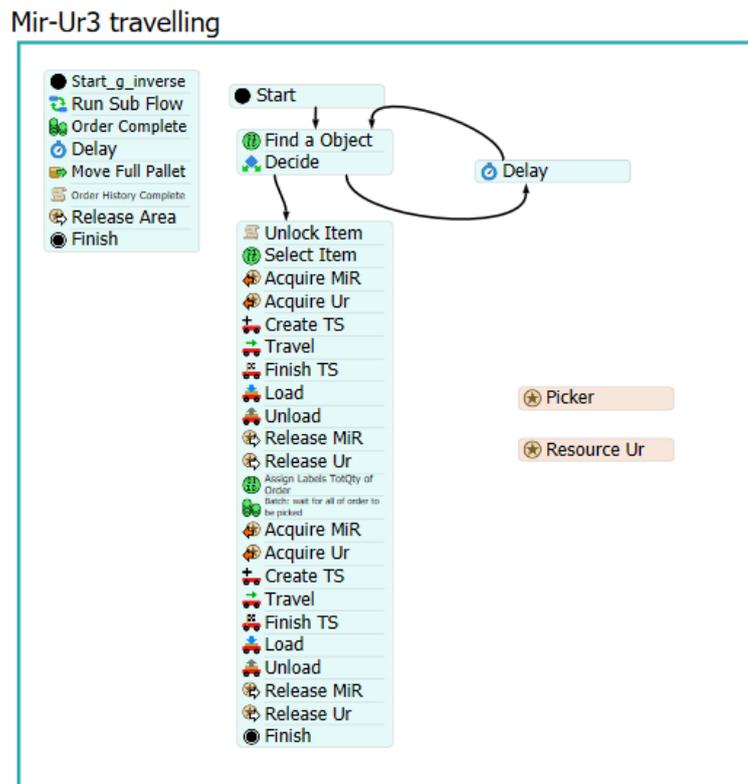


FIGURA 38 - MIR-UR LOGIC TRAVEL

Come si può osservare dalla figura 6.9, l'ordine viene elaborato tramite il comando *Run Sub Flow*, che non è altro che un ciclo for. In base alla lunghezza dell'array che caratterizza la *SkuOrd* e *QtyOrd* nella tabella *Order History*, il *TaskExecuter* inizia la sua missione per prelevare gli oggetti presenti nell'array in esecuzione. Il token, di seguito, entra nel *Run Sub Flow* secondario di figura 6.12 che gestisce la selezione dell'item dal rack nel quale è posizionato e poi tramite i comandi di *Acquire Mir* e *Acquire Ur*, il *TaskExecuter* inizia a muoversi fino ad arrivare in prossimità del rack. A questo punto l'operazione del Mir entra in stand-by e viene attivato il braccio robotico che preleva l'item richiesto e lo posiziona sul carrello del Mir. Il comando *Batch: wait for all of order to be picked* è una sorta di raccogliitore di labels che compongono un ordine. Durante la simulazione il Mir esegue vari movimenti in base alla missione assegnatagli, per tanto può spostarsi da un rack ad un altro e il braccio robotico eseguirà più operazioni di presa oggetti.

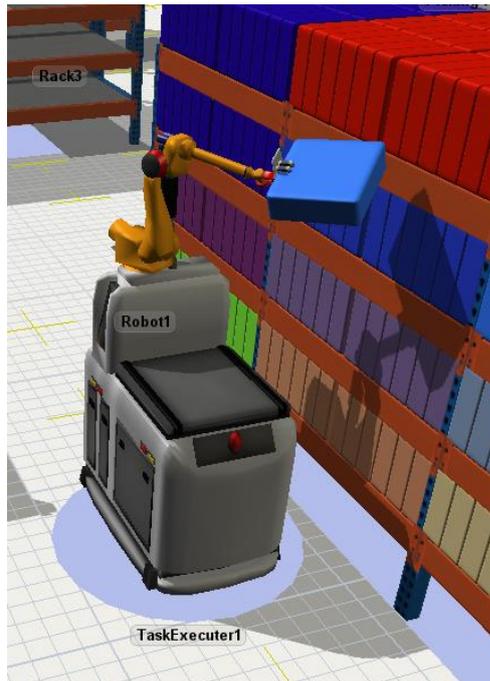


FIGURA 39 - OPERAZIONE DI PICKING

Completata questa fase, il *Batch* sblocca i labels ed il *TaskExecuter* arriva alla postazione prefissata per effettuare l'unloading pe creare il pallet misto.

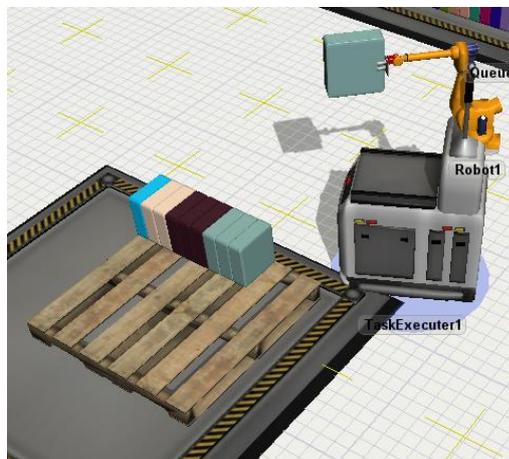


FIGURA 40 - OPERAZIONE DI UNLOADING

Una volta composto il pallet misto, questo è spostato automaticamente in un rack finale di raccolta e automaticamente viene aggiornata la tabella *Order History Complete* con il tempo impiegato per completamento della missione.

7. Risultati e discussioni

7.1 Risultati del caso aziendale

La simulazione, per il caso aziendale, è stata condotta su 8 ore lavorative ed i risultati ottenuti sono i seguenti:

Periodo tra un ordine ed il seguente (input)

- 2600 secondi ~43 minuti

Distanza percorsa dal Mir (output)

- 675 metri

Velocità Mir (input)

- 0,18 m/s

Tempo di utilizzo effettivo (output)

- 62,4 minuti

Percentuale di utilizzo (output) (su 8 ore lavorative)

- 0,13 %

Il periodo che intercorre tra la richiesta di un ordine ed il successivo risulta essere di circa 43 minuti. Questo dato ci fa capire che Elci impianti è un'azienda che ha un numero piccoli di ordini da evadere durante un'intera giornata lavorativa. Rapportando quindi il tempo di lavoro effettivo con le 8 ore di una giornata di lavoro, si arriva a valutare la percentuale di utilizzo effettiva del Mir pari allo 0,13%. Questo ci porta a fare alcune considerazioni: per questo tipo di realtà aziendale non converrebbe fare questo tipo di investimento perché in base al basso quantitativo di ordini da evadere, il Mir verrebbe sfruttato molto poco per la creazione di pallet misti.

7.2 Scenari differenti

In seguito per analizzare l'eventuale applicazione del sistema proposto in diverse realtà aziendali, è stata condotta la simulazione mediante l'experimenter su Flexsim andando a modificare un parametro ritenuto significativo dalla *Global Parameters*: il periodo con la quale vengono richiesti gli ordini. Sono stati scelti diversi valori infatti tale parametro contraddistingue la tipologia di azienda che si sta analizzando. In pratica, facendo riferimento ad un magazzino che ha un layout uguale a quello di Elci Impianti e mantenendo la distribuzione degli ordini dai dati raccolti, modificando il periodo, si passa da una realtà aziendale con un'alta frequenza di ordini da evadere, ad una realtà che tende a gestire un numero più basso di ordini. Questo permette di capire che impatto ha l'inserimento Mir-Ur in diverse contesti.

I periodi scelti sono di: 100, 200, 300, 400, 600, 700, 800, 900, 1000, 1600, 1700, 1800, 2000, 2400, 2600 secondi.

Dai risultati ottenuti, si evince che il parametro Mir distance, per le 8 ore di lavoro giornaliero, è il seguente:

TABELLA 7 - TEMPO LAVORO DEL MIR-UR

Periodo [s]	Distanza percorsa dal Mir [m]	Velocità [m/s]	Tempo effettivo [ore]	Utilizzo effettivo %
100	5376	0,18	8,3	>100
200	4761	0,18	7,3	92
300	4146	0,18	6,4	80
400	3531	0,18	5,4	68
600	2498	0,18	3,8	48
700	2181	0,18	3,3	42
800	1968	0,18	3	38
900	1795	0,18	2,7	35
1000	1656	0,18	2,5	32
1600	1073	0,18	1,6	21
1700	978	0,18	1,5	19
1800	929	0,18	1,4	18
2000	845	0,18	1,3	16
2400	743	0,18	1,1	14
2600	675	0,18	1	13

Considerando solo la percentuale di utilizzo del Mir si può notare che solo per periodi inferiori o uguali a 100 secondi bisognerebbe adottare la configurazione di più Mir che lavorano in parallelo perché si supera il 100% di utilizzo di una sola macchina, mentre per periodi superiori la scelta di un unico Mir, per la creazione di pallet misto, può essere considerata corretta. Andando però a considerare anche la scarica del Mir-Ur riportata in figura 7.1, si nota che la

macchina ha un tempo di autonomia pari a circa 12000 secondi che corrispondono a circa 3,3 ore di lavoro effettivo.

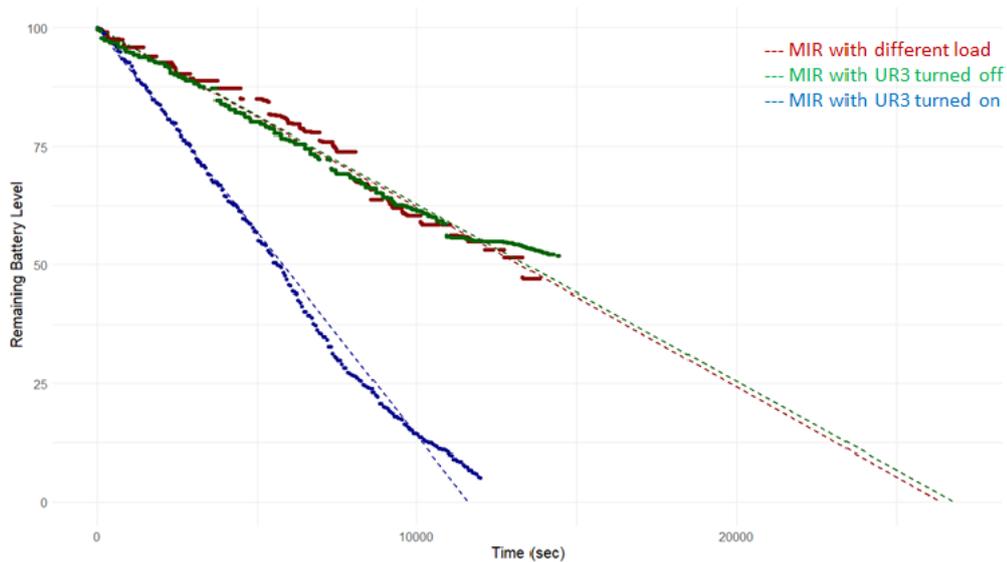


FIGURA 41 - STATE OF CHARGE (MIR-UR) [12]

I tempi per la ricarica completa della macchina sono di circa 3 ore per tanto andando a sommare il tempo di lavoro effettivo con i tempi di ricarica, si arriva a saturazione di una singola macchina per periodi inferiori o uguali a 400 secondi. In base a questa considerazione, la scelta corretta sarebbe quella di scegliere più macchine che lavorano in parallelo in base sia alla percentuale di utilizzo sia ai tempi di ricarica, in modo da non avere interruzioni per l'evasione degli ordini durante la giornata lavorativa.

Ovviamente per ovviare a problemi di collisione tra le macchine durante lo svolgimento delle missioni, il magazzino dovrebbe essere diviso in settori in base al numero di Mir adottati. In particolare, ciascuna area sarebbe assegnata ad un Mir in modo che la creazione del pallet misto avvenga in tempi più brevi.

8. Conclusione

In questo lavoro di tesi sono stati analizzati due aspetti di fondamentale importanza per l'industria 4.0: il picking automatico e l'introduzione di un sistema automatico per svolgere questa operazione e in particolare creare un pallet misto. I vantaggi legati all'introduzione del sistema studiato sono i seguenti:

- Riduzione degli spostamenti del personale: in quanto non è l'operatore che ricerca gli oggetti bensì sono gli oggetti che vengono posizionati davanti a lui; lo sforzo fisico è ridotto, così come la possibilità di errore.
- Da grandi insiemi di articoli mescolati si può risalire ad un oggetto all'interno di uno specifico ordine grazie ai software di gestione che tracciano gli articoli caricati.
- Ottimizzazione del percorso del magazzino per ridurre i tempi di preparazione degli ordini.

Bisogna tener presente che il Mir lavora in totale sicurezza per il personale perché è dotato di sensori ottici che intervengono sul sistema frenante qualora venga rilevato un ostacolo. Inoltre, è da tenere in considerazione che per aziende come Elci impianti non converrebbe adottare un sistema automatico di questo tipo perché principalmente il loro lavoro si svolge in questo modo: gli operatori che lavorano nel magazzino preparano al mattino i pallet che devono essere caricati sul camion e portati in cantiere, per tanto il numero di ordini giornalieri risulta essere molto piccolo tanto. Adottando il Mir-Ur si andrebbe ad affrontare un investimento ingente che verrebbe recuperato dopo molti anni e dalle analisi fatte nel capitolo 7.1 si può notare come la macchina verrebbe sfruttata poco. Per aziende con ordini molto frequenti invece, questo sistema dovrebbe essere ampliato con più Mir ed Ur che lavorano in parallelo in modo che gli operatori operano da postazioni fisse, evitando errori di carico merci e possibili infortuni durante lo spostamento di queste ultime. Ovviamente in entrambe le realtà aziendali è da tenere in considerazione il costo dell'investimento iniziale mediante un opportuno studio non trattato in questa tesi. Durante la fase

sperimentale effettuata in laboratorio, oltre ai dati acquisiti, sono stati rilevati anche degli errori relativi al posizionamento del Mir, da cui derivano altri errori relativi al picking da parte dell'Ur3. Infatti, nell'esperimento effettuato in laboratorio, l'Ur3 non è dotato di un visore che riconosce gli oggetti, per tanto la presa da parte del braccio robotico è stata programmata mediante la memorizzazione del movimento da compiere quando il Mir è fermo. Ma se quest'ultimo, durante lo svolgimento della missione, occupa una posizione diversa, anche di poco, da quella in cui è stato programmato il movimento dell'Ur3, l'operazione di presa fallisce. Una soluzione che potrebbe risolvere l'errore di posizionamento del Mir sarebbe quella di adottare un visore ottico montato sul braccio robotico. Mediante questa estensione, il braccio robotico, riconoscerebbe la posizione dell'oggetto su un piano e l'operazione di presa avverrebbe in maniera corretta sempre.

Vengono riportate due immagini che rappresentano la soluzione proposta:



FIGURA 42 - SISTEMA DI VISORE MONTATO SUL UR3



FIGURA 43 - VISTA DAL SISTEMA DI VISIONE

In particolare, la figura 8.1 mostra il visore montato in prossimità dell'end effector mentre la figura 8.2 rappresenta ciò che il nostro braccio robotico vede mediante questo upgrade.

Bibliografia

- [1] <https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/picking/picking-automatico>
- [2] <https://www.taiprora.it/it/.taiprora.it>
- [3] <https://patentswarm.com/patents/US8403614B2>
- [4] <http://www.systemlogistics.com/ita/soluzioni/full-case-picking/mops>
- [5] <http://www.systemlogistics.com/ita/soluzioni/full-case-picking/apps>
- [6] <http://www.systemlogistics.com/ita/soluzioni/full-case-picking/spl>
- [7] <http://www.systemlogistics.com/ita/soluzioni/full-case-picking/pps>
- [8] <http://www.systemlogistics.com/ita/soluzioni/full-case-picking/arp>
- [9] <http://www.dis.uniroma1.it/~roma/didattica/SSS16-17/parteH.pdf>
- [10] <https://www.logisticaefficiente.it/magazzino/automazione/i-magazzini-automatici-caratteristiche-ed-applicazioni.html>
- [11] https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/93746/1/2014_07_Maino.pdf
- [12] [Prediction and estimation model of energy demand of the AMR with cobot for the designed path in automated logistics systems](#)
- [13] <https://www.mecalux.it/manuale-logistica-magazzino/pallet/pallettizzazione>