



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale INGEGNERIA GESTIONALE

**Analisi delle prestazioni e delle modalità operative dei
magazzini automatizzati**

**Analysis of the performance and operating methods of automated
warehouses**

Relatore: Chiar.mo/a

Prof. **M. BEVILACQUA**

Tesi di Laurea di:

Angelucci Simone

A.A. 2022/ 2023

Sommario

1. INTRODUZIONE AI MAGAZZINI AUTOMATIZZATI	5
1.1. Il magazzino generico	5
1.2. Automated warehouses system	6
2. TIPOLOGIE DI AWS	9
2.1. AS/RS	9
2.2. AGV	11
2.3. VLM	12
2.4. AGV/RS	13
3. DUALITA TRA MODALITA OPERATIVE E PRESTAZIONI	15
4. MODALITA OPERATIVE	16
4.1. Sistemi di picking	17
4.2. Sistemi di sorting	19
4.3. Gestione AGV	20
4.4. Sistemi di trasporto	22
4.5. Sistemi controllati da computer	23
4.6. Sistemi di gestione degli inventari	23
4.7. Sistemi di controllo generale del magazzino	24
5. ANALISI DELLE PERFORMANCE DEGLI AWS	25
5.1. Scelta dei KPI	26
5.2. Categorie dei KPI per i magazzini automatici	27
5.3. Tabella dei KPI	29
5.4. Spiegazione specifica di alcuni KPI	31
6. Conclusioni	34
Riferimenti bibliografici	36

Capitolo primo

INTRODUZIONE AI MAGAZZINI AUTOMATIZZATI

1.1 Introduzione al magazzino generico

Il magazzino, o centro di distribuzione, è una struttura logistica che permette di stoccare i prodotti e regolare il flusso delle merci sia in entrata che in uscita. È composto dalle attrezzature di movimentazione e stoccaggio e dalle risorse sia umane che gestionali.

Cinque sono i processi principali svolti al suo interno: ricezione, stoccaggio, picking, sorting e spedizione. Il primo prevede l'arrivo dei prodotti in magazzino e può prevedere un successivo packaging in containers diversi, a seconda delle necessità dell'azienda. Successivamente, tramite lo stoccaggio, si posizionano le unità di carico negli appositi vani in cui il prodotto rimane fino alla spedizione. Le operazioni di prelievo e unione consistono rispettivamente nell'estrazione del prodotto una volta ricevuto l'ordine con successiva collocazione dello stesso in contenitori adibiti allo stoccaggio e

alla successiva movimentazione. Infine, il processo di spedizione si occupa di inviare gli ordini combinati ai clienti.

La gestione delle operazioni ha un ruolo molto importante al fine di evitare inefficienze che possano riflettersi su tutto il processo produttivo e quindi vanno gestite secondo una politica di riduzione dei costi.

Sono necessari spazi ampi per poter ottimizzare la movimentazione degli stock e le manovre dei carrelli, caricare e scaricare il carrello e i containers, suddividere le UdC negli scaffali, esaminare gli ordini selezionati.

Generalmente l'operazione che richiede maggiori costi ed ha tempi di svolgimento maggiori è il picking degli ordini.

In questo contesto, negli anni, si è sviluppata la necessità di trovare una soluzione che portasse un efficientamento nella gestione globale dei magazzini, da qui è iniziata l'implementazione dei magazzini automatici.

1.2. Automated Warehouse Systems (AWS)

Gli AWS permettono lo stoccaggio e il prelievo dei prodotti nelle aziende di produzione e distribuzione. Questi sono stati introdotti a partire dagli anni '50 e hanno permesso una crescita considerevole delle performance nelle aziende

che hanno deciso di impiegarli, sia grazie ai miglioramenti interni all'organizzazione che all'impatto positivo che hanno avuto sui rapporti coi clienti. Sono una parte fondamentale della logistica, in sostegno alla gestione dei flussi fisici e informativi da essa trattati.

I vantaggi principali sono visibili nella riduzione di spazi necessari e nel minor numero di errori umani commessi; si ottengono dei buoni risparmi sul costo del lavoro, aumenta l'affidabilità, la qualità dei prodotti è preservata e sono ridotti i tempi di processo. Permettono, quindi, di raggiungere un livello di tecnologia avanzato nella gestione del magazzino e di ottenere dei benefici economici considerevoli. Tuttavia, tutti questi fattori non risultano facili da implementare all'interno dell'azienda: ottimizzare la posizione dei prodotti nei magazzini è uno dei punti fondamentali affinché questi benefici possano essere ottenuti, in quanto permette di ridurre le distanze da percorrere per il prelievo. L'automazione, in particolare, ha ridotto del 55% le spese operative in quanto ha permesso di migliorare le operazioni di raccolta dell'ordine. Gli svantaggi, invece, sono relativi alla flessibilità ridotta e agli ingenti costi di investimento.

La corretta gestione dei magazzini risulta fondamentale per evitare che eventuali errori che si ripercuotano durante l'intero processo di raccolta di materiali causando sprechi di tempo e azioni correttive non a valore aggiunto.

La fase più critica nella catena delle operazioni svolte all'interno degli AWS risulta essere quella del trasporto dal punto di prelievo al punto di consegna, seguita dalla fase di ricerca e da quella di raccolta dei componenti. Per questi motivi è molto importante che il magazzino e tutte le operazioni svolte al suo interno siano ben organizzate con l'obiettivo di ridurre gli eventuali alti costi di gestione.

Capitolo secondo

TIPOLOGIE DI AWS

Al momento sono presenti diverse tipologie di magazzini automatici: gli automated storage and retrieval system (AS/RS), gli automated guided vehicles (AGV), i vertical lift modules, i caroselli e gli automated guided vehicle and retrieval systems (AGV/RS).

2.1. Automated storage and retrieval system (AS/RS)

I magazzini automatizzati a sistema di rilevamento (AS/RS) sono un nuovo tipo di tecnologia di immagazzinamento dei prodotti e un progetto scientifico e tecnologico integrato nella gestione dei materiali e nella scienza dello stoccaggio. La fase di immagazzinamento automatica può memorizzare automaticamente i materiali di esportazione. È composto da multi-rack di

stoccaggio, un sistema di convogliatori, sistemi integrati di assistenza alla gestione “CIM” e sistemi di comunicazione. Si tratta di un sistema che integra la tecnologia di automazione dell'informazione, tecnologie automatiche guidate, robotica e archiviazione automatizzata. Allo stesso tempo, lo sviluppo di magazzini AS/RS è strettamente relativo allo sviluppo dell'architettura del magazzino stesso. Lo sviluppo di AS/RS è di grande supporto allo sviluppo dell'architettura fisica dei magazzini, mentre i progressi nella tecnologia di stoccaggio possono significativamente guidare lo sviluppo della tecnologia AS/RS. Si può quindi affermare come con l'implementazione di sistemi AS/RS, i sistemi di stoccaggio si sono ulteriormente indirizzati verso l'integrazione della fase di archiviazione e la fase di stoccaggio intelligente. In questo sistema gli storing pallet e la struttura di stoccaggio sono fissi. Si possono trovare tre diverse tipologie di AS/RS: singola profondità, doppia profondità e multi-profondità; queste sono scelte a seconda della tipologia di prodotti stoccati nel magazzino e della tecnologia a cui si fa riferimento. Ricevuto l'ordine, lo si inserisce nel sistema informativo il quale fa in modo che il traslo elevatore prelevi il pallet dalla stazione in cui era stato stoccato e lo trasporti fino al sistema di convogliatori dal quale viene poi prelevato con il carrello elevatore. Tra i principali vantaggi di questo sistema si hanno: la riduzione degli spazi ottenuta grazie

allo sviluppo verticale della struttura, il miglioramento del flusso dei materiali e il controllo delle scorte.

Questi sistemi possono essere ottimizzati (nel migliore dei modi) quando si effettuano sia una buona progettazione della struttura che una buona progettazione della gestione del sistema.

2.2. Automated guided vehicle (AGV)

Sono dei sistemi utilizzati nei magazzini, nei centri di distribuzione e negli impianti produttivi per la movimentazione dei prodotti, sia lotti unici che insiemi di prodotti di ridotte dimensioni.

Le unità costitutive degli automated guided vehicle sono: l'unità di trasmissione, i robot, i pod di inventario e le stazioni di lavoro. Sono suddivisi in due architetture principali: hardware e software. Il primo presenta tutte le parti che compongono la struttura dell'AGV (come motore e parti elettroniche), il secondo invece permette di fornire al macchinario tutte le informazioni di gestione, navigazione e orientamento.

Permettono di ridurre l'accumulo di materiali che si crea spesso a ridosso dei raccoglitori a rulli e dei nastri. Ulteriori vantaggi sono l'aumento della

sicurezza dei lavoratori, la riduzione del costo dell'energia, l'aumento dell'efficacia. Gli svantaggi del sistema sono, invece, i costi di installazione, i lunghi tempi richiesti per la loro implementazione, la necessità di migliorare la sensibilità e capacità di orientamento degli AGV al fine di garantire la sicurezza all'interno della supply chain. È necessario evitare le collisioni tra veicoli e con persone o altri macchinari per non incorrere in interruzioni della produzione o blocco del sistema AGV.

2.3. I vertical lift modules e caroselli (VLM)

Consistono in strutture composte da due colonne nelle quali è posizionato un estrattore meccanico che si muove tra i ripiani per stoccare o prelevare automaticamente i vassoi nei quali sono contenuti i prodotti e portarli al picker. Nei sistemi di caroselli, i dischi sono collegati da una catena che ruota orizzontalmente (generalmente in entrambe le direzioni) e ruota su una pista ovale. Così, il tempo necessario per rilasciare una tavola da un carosello è fortemente correlato con la sua posizione originale e il suo punto di destinazione (e quindi al numero di tavole tra le due posizioni) e di conseguenza, con la sequenza di recupero dei diversi oggetti. Tuttavia, in un

VLM, il tempo analogico richiesto è approssimativamente lo stesso per tutti i dischi, poiché la velocità di movimento verticale del VLM è molto superiore alla velocità orizzontale.

Questa tecnica permette di ottenere un'elevata produttività in quanto l'operatore rimane in un punto fisso e può occuparsi di svolgere altre operazioni mentre il vassoio è in arrivo. Alcuni dei vantaggi di questi sistemi sono: alta densità di stoccaggio e massimizzazione degli spazi utilizzati, prelievo automatizzato che permette di ottenere una buona ergonomia e un alto livello di sicurezza per i dipendenti.

2.4. Automated vehicle storage and retrieval systems

Consistono in un'alternativa agli AS/RS. I componenti principali sono: i veicoli autonomi, l'ascensore, un sistema di binari che permette il passaggio dei veicoli nelle corsie e la scaffalatura in cui vengono depositi i pallet con i prodotti.

I primi si occupano di eseguire i movimenti orizzontali sugli assi x e y e di trasportare i pallet dall'ascensore alla zona di stoccaggio/ricevimento; si muovono tra le corsie sfruttando i binari trasversali: una zona di stoccaggio

presenta scaffalature su ambo i lati, divise da una corsia centrale. Il magazzino si compone di più corridoi che possono contenere un'unica unità di stoccaggio o multiple. I veicoli possono essere utilizzati su un unico livello o su più livelli a seconda che si scelga una configurazione tier captive oppure tier-to-tier; la prima prevede che ci sia un veicolo per ogni livello, la seconda, invece, ha un numero di livelli maggiore rispetto al numero di veicoli, i quali si spostano, grazie all'elevatore.

Sono presenti dei punti di carico/scarico nella zona centrale del corridoio, così da dividerli in due segmenti uguali con lo scopo di minimizzare la distanza da percorrere per depositare il pallet/prodotto caricato dai veicoli autonomi.

L'unità di elevazione è composta da più elevatori che trasportano i pallet tra i livelli del magazzino; ogni elevatore può trasportare un pallet alla volta, ma contemporaneamente possono essere trasportati più pallet da diversi elevatori per ottenere una maggiore capacità di trasporto e dei tempi ciclo inferiori.

Capitolo terzo

DUALITA TRA LE MODALITA OPERATIVE E LE PRESTAZIONI DEGLI AWS

Sia le prestazioni che le modalità operative dei magazzini automatici sono fortemente influenzate dalle tecnologie e dai sistemi utilizzati all'interno del magazzino. L'uso di sistemi automatizzati, come sistemi di stoccaggio, picking, nastri trasportatori e robot, può migliorare significativamente l'efficienza e l'efficacia delle operazioni di magazzino. Tuttavia, questi sistemi devono essere attentamente progettati e implementati per garantire che siano ottimizzati per le esigenze e i requisiti specifici del magazzino. Ogni modalità operativa presenta vantaggi e svantaggi a seconda del tipo di magazzino in cui si opera. Per aumentare l'efficienza delle operazioni svolte all'interno degli AWS è estremamente importante lo studio e l'implementazione corretta del sistema che porta più vantaggi rispetto alle esigenze che si presentano.

Capitolo quarto

LE MODALITA OPERATIVE

Le modalità operative di un magazzino automatizzato si riferiscono alle strategie e ai processi utilizzati per gestire e controllare le operazioni del magazzino. Ciò include l'uso di varie tecnologie e sistemi software per ottimizzare il flusso di materiali e merci in tutto il magazzino. L'analisi delle modalità operative comporta la valutazione dell'efficacia di tali strategie e processi nel raggiungimento degli scopi e degli obiettivi del magazzino.

Le modalità operative principalmente analizzate e gestite all'interno di un sistema di stoccaggio automatizzato sono riportate nei seguenti paragrafi.

4.1. Sistemi di Picking

- **Materiali verso operatore (GTP):** Con questo metodo, gli oggetti necessari vengono consegnati da robot o sistemi automatizzati direttamente alla stazione di lavoro o alla zona di raccolta, dove gli operatori umani completano gli ordini o ne completano una parte. Di conseguenza, gli operatori dovranno muoversi di meno all'interno del magazzino e svolgeranno principalmente operazioni di sorting.

- **Operatore verso materiali (PTG):** questo metodo consiste nell'invio di operatori verso i vani nel quale si trovano i prodotti da prelevare col fine di raccogliere o riempire gli inventari.

La modalità di picking PTG è fortemente influenzata dalle politiche di **ROUTING** all'interno del magazzino che definiscono i percorsi ottimali per la minimizzazione dei tempi e dello spazio percorso,

Le direttive di routing principalmente seguite sono:

- **Traversal** nel quale l'operatore percorre i corridoi per intero una volta entrato al proprio interno.

- **Return** nel quale l'operatore una volta effettuato il picking di tutti i prodotti all'interno di un corridoio torna indietro quindi uscendo dallo stesso lato da cui è entrato per il picking.

- **Mid-point return** che si basa su una divisione immaginaria del magazzino a metà e porterà l'operatore ad utilizzare una tra le due modalità precedenti a seconda della metà in cui si trova.

Inoltre, le modalità GTP e PTG possono essere ulteriormente classificate e svolte secondo due logiche di svolgimento:

- **Order picking**, nel quale la missione dell'operatore è di evadere un singolo ordine o una frazione di esso, questo comporta una elevata semplicità gestionale e un minore tasso di errore durante il completamento di un ordine

- **Batch picking**, nel quale la missione degli operatori consiste nell'evasione di un lotto di ordini completi, questa modalità è caratterizzata da un'elevata complessità gestionale ed una maggiore difficoltà nel completamento corretto di ogni singolo ordine ma riduce di gran lunga gli spostamenti all'interno del magazzino minimizzando i costi di movimentazione e riducendo il traffico tra i corridoi.

4.2. Sistemi di sorting

Questa operazione, fondamentale all'interno dei magazzini per l'evasione degli ordini, può essere svolta in varie modalità all'interno dei sistemi di stoccaggio:

- **Sorting contestuale:** questo metodo consiste nell'abbinare le operazioni di picking e sorting che vengono effettuati contemporaneamente da un operatore, tramite carrelli con commisionatore, o tramite carrelli/veicoli a guida autonoma

- **Sorting differito:** in questa modalità all'operatore verranno presentati una serie di prodotti che poi andranno divisi in base agli ordini da evadere

In più tutte le operazioni di sorting possono essere svolte tramite l'utilizzo di convogliatori, sul quale scorre la scatola da riempire tra le varie zone a cui sono assegnati gli operatori che a mano a mano soddisferanno una parte dell'ordine con i prodotti stoccati all'interno della loro zona.

4.3. Gestione dei veicoli AGV

Sono veicoli a guida autonoma che trasportano merci all'interno del magazzino. Possono movimentare oggetti tra diverse zone e lavorano principalmente in 2 condizioni di ciclo: semplice oppure combinato.

Il ciclo semplice corrisponde o ad un prelievo o ad un deposito di un carico.

Il ciclo combinato abbina queste due operazioni per una riduzione dei tempi e dei costi di esercizio. Operando con un ciclo combinato si va a definire anche una "no cost zone" che consiste nella somma dei tempi di un viaggio dal punto di ingresso al punto di stoccaggio e di un viaggio dal punto di stoccaggio al punto di prelievo. Un AGV operando in questa zona riduce i costi di movimentazione all'interno dell'impianto di stoccaggio.

I percorsi dei veicoli dipendono dal tipo di tecnologia impiegata, le due implementazioni possibili dei sistemi sono:

- a percorso fisso, con sistemi a bande foto-riflessive o a induzione; nel primo metodo sono poste sul pavimento delle bande riflettenti che si sviluppano lungo percorsi prestabiliti e che i veicoli tramite laser e sensori seguono per spostarsi dal punto di partenza a quello di arrivo, nel secondo caso invece vengono installate delle canaline lungo il pavimento, sempre lungo dei

percorsi prestabiliti, al cui interno vengono posati dei cavi che creano impulsi elettromagnetici tramite il passaggio di corrente, questi impulsi vengono riconosciuti dal veicolo che li segue lungo i percorsi, a seconda dello spostamento che deve effettuare. Questi tipi di veicoli hanno dei sistemi di gestione dei movimenti e del traffico molto più semplici da implementare e gestire.

- a percorso aperto, questa modalità di funzionamento è caratterizzata dall'utilizzo di sensori, laser e sistemi di arresto nel caso di collisioni, i veicoli si muovono lungo percorsi non stabiliti ma programmati da loro stessi al momento dell'arrivo dal sistema del task da eseguire, studiando il percorso accedendo al software gestionale del magazzino per stabilire la posizione di altri carrelli e muovendosi tra i corridoi tramite i sistemi su di esso installati. Il coordinamento dei veicoli a percorso aperto dal punto di vista gestionale è molto complicato e dispendioso ma porta l'automatizzazione del sistema di stoccaggio ad un livello di implementazione di gran lunga superiore.

La modalità di gestione del traffico, a prescindere dal tipo di percorso che i veicoli seguono, è un altro punto critico dei sistemi a guida autonoma. Questo può essere gestito in vari modi, i principali sono tramite sensori, per rilevare eventuali ostacoli presenti all'interno dei corridoi o lungo il percorso per arrivare ai vani, o tramite controllo a zona, modalità che evita che due veicoli

si possano trovare contemporaneamente nello stesso corridoio, in questo caso si abbasserà di gran lunga il tasso di collisioni ma si incorrerà spesso in blocchi totali del sistema.

4.4. Sistemi di trasporto:

Per movimentare oggetti oppure unità di carico pallettizzate, vengono impiegati trasportatori:

- a rullo, a ruote, a nastro, ottime soluzioni per la movimentazione di carichi pallettizzati o di oggetti con dimensioni trasversali elevate.

- aerei a catena che permettono anche la movimentazione tra più livelli, il sistema “POWER” è il più semplice e movimentata un carico alla volta, mentre il sistema “POWER&FREE” è dotato di due catene, una per il trasporto ed una per “liberare”, questo permette di scaricare un carico senza bloccare l’intero sistema di movimentazione.

- carrelli, questo sistema è quello prediletto quando si lavora con carichi sfusi o in ambienti di lavoro scomodi con percorsi difficoltosi.

La scelta tra uno di questi sistemi dipende dalla tipologia di prodotto da movimentare, se sfuso o pallettizzato e dalle esigenze date dall'ambiente di lavoro quali spazi, ingombri o difficoltà del percorso. Possono essere utilizzati per distribuire, fondere e ordinare gli oggetti in modo efficiente, riducendo al minimo la manipolazione manuale.

4.5. Sistemi controllati da computer

Memorizzano e recuperano automaticamente i materiali, noti come sistemi di archiviazione e recupero automatizzati, o AS/RS. Per raggiungere e recuperare oggetti, includono scaffali, vani, gru robotiche o traslo elevatori che si muovono verticalmente e orizzontalmente.

4.6. Sistemi di gestione degli inventari

Essenziali per i magazzini automatizzati per gestire efficacemente le loro scorte. Questi programmi producono elenchi di selezione, monitorano i livelli

di stock, ottimizzano i siti di stoccaggio e pianificano il flusso di articoli all'interno del magazzino.

4.7. Sistemi di controllo generale del magazzino

Integrano e controllano i numerosi sistemi automatizzati all'interno dell'impianto di stoccaggio. Gestiscono le prestazioni delle attrezzature, ottimizzano l'esecuzione degli ordini, controllano i flussi delle merci e comunicano con i sistemi di gestione degli inventari.

Capitolo quinto

ANALISI DELLE PERFORMANCE DEI MAGAZZINI AUTOMATIZZATI

Un'analisi delle prestazioni e dell'efficienza delle operazioni, svolte all'interno di un sistema di produzione, vengono effettuate principalmente tramite degli indici di performance chiamati KPI (Key Performance Indicators). Analogamente essi vengono utilizzati anche per la valutazione dell'efficacia delle operazioni svolte all'interno di un sistema di stoccaggio soprattutto se con modalità di funzionamento automatizzate. Questi indicatori ci danno una valutazione generale, ma anche più concentrata su alcuni aspetti chiave, dei punti di forza e di debolezza dell'azienda sotto esame. In un ambiente competitivo come quello odierno, avere una chiara visione dei punti di forza dell'azienda permette di raggiungere gli obiettivi interni nel migliore dei modi e di mantenere una posizione di vantaggio all'interno del settore nel quale si opera.

5.1. Scelta dei KPI

Per la valutazione di un magazzino automatizzato bisogna in primo luogo prendere in considerazione un campione di articoli. La prima metà del campionamento viene fatto sugli articoli presenti in magazzino con valore maggiore, l'altra metà di articoli tramite un campionamento casuale dei prodotti rimanenti. Successivamente si calcola la frequenza relativa (data dal rapporto tra il numero di ricorrenze dell'indice e il numero totale degli articoli), la frequenza pesata (calcolata come il rapporto tra il numero di citazioni per l'articolo i -esimo in cui è presente l'indice e il totale degli articoli) e la frequenza globale (ottenuta dalla media delle due precedenti).

Per i magazzini automatizzati in particolare si utilizzano i KPI relativi direttamente alle performance dei magazzini automatici, scartando quelli che non hanno un'influenza diretta sulla sua organizzazione e ottimizzazione (ad esempio la presenza di polvere e sporco) e si scartano anche quelli il quale studio è possibile solo a livello qualitativo. Infatti, per poter valutare gli indici secondo la norma ISO 22400 è condizione necessaria che questi siano esprimibili tramite formula matematica. Infine, i KPI vengono suddivisi in cinque categorie a seconda della tipologia di risultato che permettono di controllare e ottimizzare.

5.2. Categorie KPI per magazzini automatici

Le cinque macrocategorie con cui vengono classificati i KPI sono:

- **Tempo:** sono indici che forniscono informazioni necessarie per l'ottimizzazione e la gestione dei tempi che hanno un impatto sulle attività svolte all'interno del magazzino;
- **Economici:** sono inseriti in questa categoria tutti i KPI relativi ai costi che si verificano nella creazione e implementazione delle operazioni che permettono il funzionamento dell'intera zona di stoccaggio;
- **Ambientali:** in questa categoria si trovano gli indici di coefficiente volumetrico e superficiale e quello di capacità del magazzino. Sono utili in fase di creazione del layout del magazzino per capire quali siano gli spazi necessari per uno svolgimento ottimale delle operazioni di gestione del magazzino, di carico/scarico delle unità e di spostamento dei veicoli e del personale. Inoltre, sono inseriti gli indici di spazio libero, utile come guida sia per la movimentazione dei veicoli che per l'ottimizzazione degli spazi, e quello relativo alla temperatura, la quale deve essere costantemente controllata per preservare la qualità dei prodotti stoccati.

- **Qualità:** sono contenuti in questa categoria gli indici che hanno lo scopo di fornire informazioni relative all'efficacia della gestione delle performance del magazzino grazie alla valutazione di aspetti quali il throughput, l'errore medio, la rotazione delle unità nel magazzino, il picco di utilizzo, la ricettività e la selettività. Grazie a questi indici è possibile ottimizzare le performance tecniche del magazzino.

- **Efficienza AGV:** i KPI descritti in questa categoria valutano il numero di veicoli ritenuto ottimo per ottenere una gestione efficace delle unità, il numero di collisioni che si possono verificare durante il trasporto delle unità di carico da una postazione ad un'altra, l'autonomia della batteria e la rapidità da parte di un robot di riconoscere l'item da prelevare. Sono tutti indici che permettono di gestire nel migliore dei modi il funzionamento dei veicoli automatici.

5.3. Tabella KPI

Legenda tabella  Gerarchia KPI: O – operativa

T – tattico

S – strategico

Categoria	KPI	Unità	Freq. relativa	Freq. pesata	Freq. globale	Gerarchia
Tempo	Task Time.	min	10.84	10.40	35.56	O
	Tempi di ciclo.	min	19.70	36.09	86.31	T
	Tempo di movimentazione.	min	19.70	17.92	63.41	O
	Tempo di giacenza.	min	6.90	8.65	25.19	O
	Picking.	min	14.29	35.03	73.75	O
	Lead time.	giorni	7.39	5.89	22.73	T
	Tempo Attesa e Code.	ore	10.84	11.84	37.38	T
	Tempo di Ricarica.	ore	1.48	0.69	3.93	O
	Tempo di Accesso alla Ricarica.	ore	2.46	1.44	6.92	O

Economico	Costi di Investimento e Gestione.	€/anno	11.82	14.10	42.26	S
	Costi Di Gestione del Personale.	€	3.45	2.01	9.67	S
	Costo manutenzione del magazzino.	€/anno	1.48	0.13	3.22	S
	Costo Inventario.	€	3.45	8.08	17.33	S
	Inventory Turnover.	giorni	3.45	2.01	9.67	S
	Ambientale	Coefficiente Utilizzo Volumetrico.	%	14.29	39.66	79.59
Coefficiente Utilizzo Superficiale.		%	14.29	39.66	79.59	S
Spazio libero.		m ²	4.43	2.13	11.87	S
Temperatura.		giorni	1.48	0.11	3.03	O
Qualità		Throughput.	U/min	24.14	32.64	91.15
	Bottleneck Rate.	min	1.97	0.19	4.32	T
	Errore Medio.	min	3.45	1.88	9.51	T
	Stock Rotation.	-	0.49	0.19	1.26	T
	Utilizzo Scaffali.	%	5.91	5.08	18.64	T
	Utilizzo medio risorse.	%	12.32	19.55	50.15	O

	Selettività.	%	3.94	0.94	9.35	T
	Ricettività.	U/ora	20.20	20.49	67.67	T
	Picco di Utilizzo.	%	0.99	0.81	3.07	T
Eff. AGV	Capacità dei veicoli.	U	3.45	2.76	10.62	O
	Efficacia nel riconoscere gli Item.	%	0.99	0.13	2.20	O
	Autonomia batterie veicolo.	ore	1.48	0.25	3.38	T
	Numero Collisioni.	1/ore	5.42	1.69	13.36	O
	Traffico presente nel magazzino.	1/m ²	0.49	0.00	1.02	T

5.4. Spiegazione specifica di alcuni indici

- Task Time: tempo di completamento di una operazione in un dato vano.
- Tempi di ciclo: tempo totale di completamento di un'operazione.

- Tempo di movimentazione: tempo totale di movimento di un AGV dal punto di carico/scarico al punto di input/output.
- Lead time: tempo totale per il completamento di operazioni relative ad una data unità di carico.
- Tempo di Ricarica: relativo alla carica delle batterie di un AGV.
- Tempo di Accesso alla Ricarica: tempo che un veicolo impiega a raggiungere la stazione di ricarica dalla posizione in cui si trova.
- Inventory turnover: calcolato come il rapporto tra il costo totale del bene venduto e il tempo medio di stoccaggio dell'unità.
- Temperatura: L'indice di temperatura calcola il numero di giorni in cui la temperatura risulta sopra il suo livello medio (30°C) o sotto i 0°C e considera anche i giorni di pioggia del mese considerato.
- Throughput: consiste nel numero di pallet che vengono processati nell'unità di tempo.
- Bottleneck rate: Il collo di bottiglia può essere calcolato come il tempo di completamento necessario affinché sia completata l'operazione che prevede il percorso più lungo.

- Stock rotation: indica la rotazione delle scorte all'interno del magazzino, cioè quante volte da un dato vano un carico viene estratto e rifornito.
- Selettività: calcolato come il rapporto tra movimenti utili e movimenti necessari per il prelievo di un carico da uno specifico vano.
- Ricettività: numero massimo di unità che il sistema può ricevere in un'ora.

Capitolo sesto

CONCLUSIONI

L'elaborato ha come scopo finale l'analisi di funzionamento dei magazzini automatizzati. Queste soluzioni sono sempre in continuo sviluppo e le analisi svolte ed analizzate tenderanno ad essere modificate nel tempo a seconda degli sviluppi che le nuove tecnologie per l'automatizzazione degli impianti di stoccaggio seguiranno.

Le modalità operative dei magazzini automatizzati e gli indici di performance che li caratterizzano sono sempre più dipendenti tra di loro come fattori per la scelta e lo sviluppo di sistemi di stoccaggio ma anche per la scelta degli impianti per la manipolazione, la movimentazione e qualsiasi altra operazione necessaria durante tutto l'arco di tempo di permanenza delle unità all'interno del magazzino.

Per quanto riguarda gli indici di performance KPI sono stati analizzati i più influenti sulle modalità di funzionamento degli AWS, di questi e in ognuna delle cinque categorie in cui sono stati raggruppati non è possibile

individuare uno più importante di un altro, questo dimostra come un magazzino automatizzato non possa dipendere da pochi fattori, ma sia caratterizzato, nella gestione e nel corretto funzionamento, da un gran numero di variabili che vanno manipolate per il miglioramento e l'ottimizzazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Optimization of storage location assignment in automated warehouse.

Dong Yang, Yaohua Wu, Wenkai Ma

*School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan,
Shandong 250061, China*

- X. E, Q. Zu, M. Cao, Based on genetic algorithm, the location optimization of auto parts automatic storage, *J. Syst. Simul.* 25 (3) (2013) 430–431.

- A. Deng, J. Cai, L. Mao, Research on the location optimization model of automated warehouse based on time, *Chin. Manage. Sci.* 21 (6) (2013) 107–108.

-Y. Lei, S. Zhang, X. Li, Y. Lei, Genetic Algorithm Toolbox and its Application, 3, Xi'an Electronic and Science University press, Xi'an, 2014, pp. 254–255.

-Order batching in an automated warehouse with several vertical lift modules: Optimization and experiments with real data

Lenoble Nicolas (a), Frein Yannick (a) , Hammami Ramzi (b)

*(a) University of Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, G-SCOP, F-380 0 0
Grenoble, France*

(b) Rennes School of Business, R-SCOM research center, Rennes, France

-Development of a key performance indicator framework for automated
warehouse systems

Alberto Faveto, Emiliano Traini, Giulia Bruno, Franco Lombardi