

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Meccanica



**Sistemi automatizzati innovativi per le attività di
stoccaggio e prelievo all'interno dei centri
distributivi**

Relatore: Prof. Gino Marchet

Correlatore: Ing. Elena Tappia

Tesi di Laurea di:

Cristiano Maino

Matr. n. 783735

Anno Accademico 2013 - 2014.

Indice Generale

1 Obiettivi e metodologia della ricerca.....	7
1.1La motivazione della ricerca.....	8
1.1.1L'evoluzione del contesto.....	9
1.1.2L'evoluzione dei centri distributivi.....	13
1.2Obiettivi della ricerca.....	15
1.3Metodologia.....	18
2 Sistemi automatici tradizionali per la movimentazione della merce.....	21
2.1Soluzioni per pallet.....	22
2.1.1 Classificazione traslo elevatori.....	25
2.1.2 Caratteristiche tecniche.....	26
2.2Soluzione per colli e vassoi.....	27
2.2.1Classificazione dei sistemi di picking.....	27
2.3Miniload.....	38
2.3.1Organi di presa.....	39
2.3.2Unità di Carico.....	44
2.3.3Caratteristiche tecniche.....	45
2.4 Pregi e difetti di un magazzino automatico.....	46
3Sistemi automatici di stoccaggio innovativi.....	47
3.1Le soluzioni per pallet.....	48
3.1.1Sistemi automatizzati stoccaggio con satelliti (Shuttle - Based).....	49
Authoma - Autosatmover.....	50
3.1.2Sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e traslo elevatori (Crane - Based).....	51

SSI Schafer - Lift&Run.....	52
TGW - Muli.....	53
3.1.3Sistemi automatizzati di stoccaggio con veicoli (Vehicle – based).....	53
Savoye Logistics - Magmatic.....	55
3.2 Sistemi per contenitori.....	55
3.2.1 Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori ad alta movimentazione.....	56
Knapp - OSR System.....	57
Vanderlande Industries.....	59
Adapto.....	59
Quickstore HDS.....	59
Dematic - Multishuttle 2.....	61
Swisslog - Smart Carrier.....	62
TGW - Stingray.....	63
Daifuku - Duosys.....	64
System Logistics - VLS.....	65
3.2.1.1Caratteristiche cinematiche.....	66
3.2.2Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori non ad alta movimentazione.....	67
Ylog (Knapp Group).....	68
3.2.3Sistemi automatizzati di stoccaggio con “3D robot”.....	69
Swisslog - Autostore.....	70
3.2.4 Sistemi automatizzati con scaffalature di picking mobili.....	70
Kiva System.....	71
Swisslog - Carry pick.....	72
4 Classificazione dei sistemi automatici.....	74
4.1 I principi base e i parametri di valutazione.....	76
4.2 Le caratteristiche della classificazione.....	79
4.3Classificazione delle soluzioni per pallet.....	81
4.4Classificazione delle soluzioni per scatole e vassoi.....	85

5 Magazzino automatizzato Neologistica.....	92
5.1 Descrizione generale dell'azienda.....	93
5.1.1 Storia e filosofia.....	93
5.1.2 Modello di business.....	93
5.2 Il magazzino di Origgio.....	95
5.2.1 Descrizione generale.....	95
5.2.2 Flusso pallet.....	98
5.2.2.1 Accettazione (ACEMA).....	98
5.2.2.2 Ricircolo.....	99
5.2.2.3 Area di stoccaggio dei pallet.....	100
5.2.2.4 Depalletizzazione.....	101
5.3 Descrizione del problema.....	102
5.4 Proposta di interventi migliorativi.....	103
5.4.1 Modifica della logica di ingresso dei pallet da area ACEMA.....	103
5.4.2 Modifica della logica di gestione dei pallet deviati verso elevatore.....	104
5.4.3 Modifica della logica di gestione delle stazioni di depalletizzazione.....	105
5.5 Stima dei benefici.....	105
Bibliografia:.....	109

Indice delle figure

Figura 1.1: Possibile configurazione di supply chain.....	9
Figura 1.2: Andamento delle vendite non alimentari del canale E-commerce in Italia dal 2008 al 2012.....	10
Figura 1.3: Variazione percentuale delle vendite tra canale fisico e canale online tra il 2011 e il 2012 per alcuni settori del mondo retail.....	11
Figura 1.4: Classifica delle prime 20 aziende mondiali fornitrici di sistemi per la movimentazione dei materiali.....	12
Figura 1.5: Aree funzionali e flussi di materiali all'interno di un centro distributivo.....	14
Figura 1.6: Il centro distributivo di Neologistica a Origgio.....	17
Figura 2.1: Disegno schematizzato di un magazzino automatico.....	23
Figura 2.2: Disegno di un trasloelevatore e dei suoi componenti.....	24
Figura 2.3: Trasloelevatore monocolonna.....	25
Figura 2.4: Trasloelevatore bicolonna.....	25
Figura 2.5: Classificazione Order Picking System.....	28
Figura 2.6: Classificazione dei parts-to-picker OPS in caso di UdC di piccole dimensioni.....	30
Figura 2.7: Layout del singolo corridoio di un end-of-aisle OPS con AS-RS e horse-shoe configuration.....	31
Figura 2.8: Layout di un remote OPS con miniload AS-RS.....	32
Figura 2.9: Carosello orizzontale.....	35
Figura 2.10: Carosello verticale.....	36
Figura 2.11: AVSS.....	37
Figura 2.12: Magazzino automatico miniload AS-RS.....	38
Figura 2.13: Organi di presa con braccetti telescopici (Dematic).....	40
Figura 2.14: Organo di presa con braccetti telescopici a doppia profondità (TGW Twister).....	41
Figura 2.15: Organo di presa a forza con cingolo robotizzato (TGW Combi-Telescope).....	42
Figura 2.16: Organo di presa con due estrattori in grado di movimentare quattro scatole contemporaneamente.....	43

Figura 3.1: Esempio di configurazione di un impianto.....	49
Figura 3.2: Esempi di configurazioni di impianto per un sistema shuttle-based.....	50
Figura 3.3: Autosatmover con shuttle Supercap.....	51
Figura 3.4: Configurazione del sistema di stoccaggio Lift&Run.....	51
Figura 3.5: Sistema Lift&Run di SSI Schafer.....	52
Figura 3.6: Configurazione impianto del sistema Vehicle - Based.....	54
Figura 3.7: Veicolo Magmatic sull'elevatore.....	55
Figura 3.8: Configurazione di impianto di un sistema OSR.....	56
Figura 3.9: OSR System di Knapp.....	58
Figura 3.10: Shuttle Adapto caricato sull'elevatore.....	59
Figura 3.11: Quickstore HDS.....	60
Figura 3.12: Configurazione impianto con Dematic Multishuttle 2.....	62
Figura 3.13: Shuttle Smart Carrier di Swisslog.....	63
Figura 3.14: Configurazione impianto Duosys Daifuku.....	64
Figura 3.15: Tecnologia di sollevamento a trave del VLS.....	65
Figura 3.16: VLS di System Logistics.....	66
Figura 3.17: Shuttle AiV di YLog.....	68
Figura 3.18: Robot indipendenti 3D di Swisslog - Autostore.....	69
Figura 3.19: Configurazione impianto di Swisslog - Autostore.....	70
Figura 3.20: Robot del sistema Kiva.....	72
Figura 3.21: Sistema Carry Pick di Swisslog.....	73
Figura 4.1: Prestazioni di un sistema logistico.....	75
Figura 4.2: Obiettivi della logistica industriale.....	75
Figura 4.3: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti.....	81
Figura 4.4: Caratteristiche di sistemi semi-automatizzati di stoccaggio con satelliti.....	82
Figura 4.5: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e traslo elevatori.....	83
Figura 4.6: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con veicoli AVS/RS.....	84
Figura 4.7: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio dei pallet.....	84
Figura 4.8: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori ad altissima movimentazione con veicoli tier to tier.....	86
Figura 4.9: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori ad altissima movimentazione con veicoli tier captive.....	87

Figura 4.10: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori non ad altissima movimentazione.....	88
Figura 4.11: Caratteristiche di sistemi automatici di stoccaggio con "3D robot".....	89
Figura 4.12: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con scaffalature mobili.....	90
Figura 4.13: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio per la movimentazione di contenitori e vassoi.....	91
Figura 5.1: Schema generale dei flussi.....	96
Figura 5.2: Disegno del magazzino di Origgio.....	97
Figura 5.3: Disegno dell'impianto di Origgio.....	98
Figura 5.4: Ribalte di carico in area ACEMA.....	99
Figura 5.5: Instantanea del tratto di convogliatore della zona di ricircolo dei pallet, ingressi e uscite. I quadratini neri indicano la presenza di un pallet nella posizione, rilevata da una fotocellula.....	100
Figura 5.6: Ingresso pallet nella zona ricircolo.....	103
Figura 5.7: Numero di pallet in ingresso nella zona di ricircolo nell'unità di tempo (5 min), prima delle modifiche alle logiche di sistema.....	106
Figura 5.8: Numero di pallet in ingresso nella zona di ricircolo nell'unità di tempo (5 min), dopo le modifiche alle logiche di sistema.....	107

Indice delle tabelle

Tabella 1: Caratteristiche tecniche di alcuni traslo elevatori bicolonna.....	26
Tabella 2: Caratteristiche tecniche di alcuni traslo elevatori monocolonna.....	27
Tabella 3: Caratteristiche tecniche di alcuni Miniload.....	45
Tabella 4: Caratteristiche tecniche dei sistemi automatizzati con veicoli ad alta movimentazione...	67

1 Obiettivi e metodologia della ricerca

Il primo capitolo della tesi intende occuparsi dell'introduzione generale all'oggetto dello studio e della modalità di conduzione della ricerca.

In particolare verrà descritto lo scenario all'interno del quale è stata effettuata la ricerca cercando di mettere in evidenza le caratteristiche più importanti e i principi che lo governano. Si è posta particolare attenzione sul costante mutamento ed evoluzione dei fattori che compongono il variegato mondo del commercio e soprattutto del settore logistico.

Questo capitolo ha anche il compito di descrivere il ruolo fondamentale dei moderni centri di distribuzione e la modifica del rapporto tra produttore e consumatore, il nuovo concetto di logistica come strumento di comunicazione e punto di forza per l'acquisizione di un vantaggio competitivo, l'importanza dello studio approfondito della *supply chain* per ottenere una mappatura e un controllo completo sul percorso di vita dei prodotti.

L'innovazione e le nuove tecnologie sono gli elementi principali che sono stati presi in considerazione nello sviluppo di questa tesi, il mercato logistico e le sue nuove e molteplici vicissitudini sono l'elemento guida attraverso il quale si cerca di descrivere le nuove tendenze e le novità introdotte nelle reti di commercio dalle aziende fornitrici di servizi logistici.

1.1 La motivazione della ricerca

I sistemi di stoccaggio e distribuzione dei materiali fanno parte integrante di ogni sistema logistico, e rappresentano l'anello della catena che congiunge produttori e consumatori. Negli anni il ruolo e l'importanza dei centri distributivi è notevolmente mutato all'interno della *supply chain*, passando da uno tra i tanti anelli della catena logistica a anello fondamentale per far sì che il sistema logistico sia in grado di erogare il servizio richiesto, inteso nella sua concezione più ampia come capacità di rendere disponibile il prodotto giusto nel posto giusto, al momento giusto, e al costo giusto.

I centri di distribuzione svolgono normalmente, all'interno della rete logistica, una duplice funzione: quella di “contenitori” delle merci mantenute a scorta e quella di “trasformatori” dei flussi in ingresso in flussi in uscita, tale trasformazione riguarda sia gli andamenti temporali dei flussi sia la composizione delle unità di carico. Per esempio, nel caso di un centro distributivo operante nel settore dei beni di largo consumo, i flussi in ingresso dipendono dalle modalità di rifornimento concordate con i fornitori, mentre i flussi in uscita dipendono dalle modalità con cui vengono effettuate le consegne presso i punti di vendita al dettaglio.

La progettazione di un centro distributivo, caratterizzato da una specifica collocazione nella rete logistica, richiede dunque la definizione delle caratteristiche quantitative e qualitative del flusso dei materiali a esso facenti capo e quindi l'analisi dettagliata delle relazioni di interfaccia con i segmenti del sistema logistico situati a monte e a valle.

Questo progetto di ricerca si basa sulla consapevolezza che l'innovazione nei processi logistici stia diventando sempre più un elemento importante per sostenere e migliorare la gestione dei flussi di merci in tutta la *supply chain*, soprattutto in una situazione in continua evoluzione come quella attuale. Nella globalizzazione risulta fondamentale l'orientamento alla soddisfazione di qualsiasi esigenza del cliente cercando di costruire una *supply chain* sostenibile all'interno di un mercato nel quale le aziende si concentrano sul processo logistico per acquisire competitività.

1.1.1 L'evoluzione del contesto

Il mondo dell'economia e in particolare il settore logistico si trova in un momento di grande trasformazione e cambiamento, dovuto alla riduzione dei consumi e al cambiamento costante delle esigenze dei consumatori. In passato la logistica svolgeva un ruolo di marginale importanza in quanto vi era forte enfasi sulla relazione con il consumatore, l'attenzione era concentrata quasi esclusivamente sull'organizzazione del punto vendita.

In questo contesto, magazzini, soprattutto centri di distribuzione, hanno un ruolo sempre più strategico e sono sottoposti a pressioni in termini di costi e servizio. In termini di costi i centri distributivi rappresentano circa il 20 per cento del costo totale di logistica [Dhooma and Baker (2012)], mentre in termini di servizio questi sono fondamentali per il raggiungimento di un buon livello di servizio al cliente, in particolare i centri di distribuzione non sono solo il punto finale nella *supply chain* (Figura 1.1) ma possono anche operare come cross-docking points (centri di distribuzione che prevedono che tutta la merce entrante nel magazzino esca in giornata, non occupandone gli scaffali, utili nel caso di merci fresche o di beni dalla rapida deperibilità), come valore aggiunto per i centri di servizio (ad esempio, confezionamento, definizione dei prezzi ed etichettatura), come punti di gestione della fase post-produttiva, come punti per la gestione dei resi (gestione delle linee di rientro dei prodotti difettosi o end-of-life).

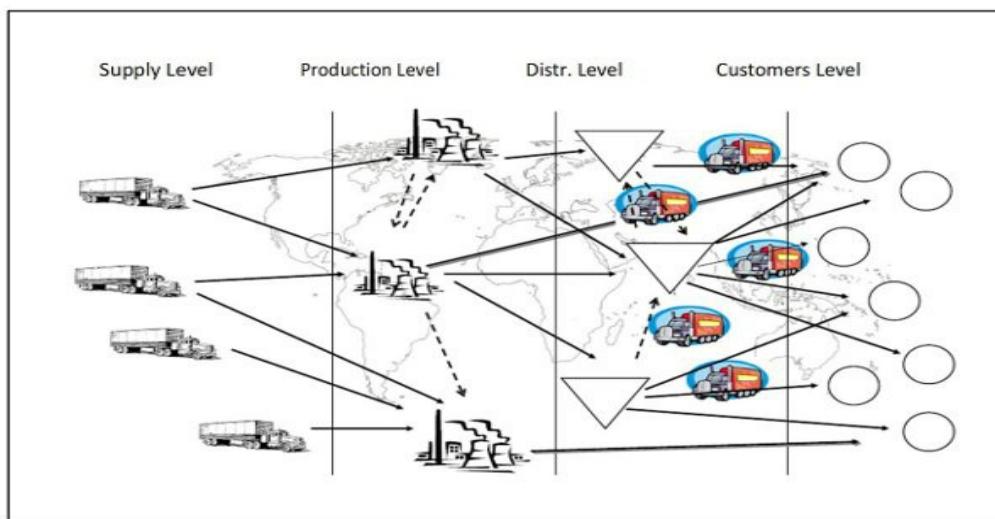


Figura 1.1: Possibile configurazione di *supply chain*

Prima degli anni '80 la rete distributiva di tutte le aziende si basava su un collegamento diretto fra il produttore e punti vendita. I prodotti venivano stoccati in magazzini di proprietà adiacenti alle fabbriche, in attesa che si manifestasse la domanda da parte dei punti vendita. Gli amministratori dei punti vendita eseguivano gli ordini alle aziende produttrici una volta terminata la scorta nel backroom dei negozi, per questo motivo le consegne avvenivano con frequenza molto bassa.

Il rapporto tra le due parti con il passare degli anni è in continuo cambiamento con l'unico obiettivo di avvicinare il momento della produzione e quello della vendita, con il risultato di soddisfare al meglio i bisogni del consumatore. Ciò ha permesso non solo di migliorare l'efficienza del sistema, ma anche di garantire un prodotto di maggior qualità ai consumatori e di ridurre lo spreco legato all'obsolescenza dei prodotti caratterizzati da un breve ciclo di vita.

L'aumento della concorrenza, la diminuzione del ciclo di vita dei prodotti ma soprattutto il grande aumento della gamma degli articoli gestiti presso un unico punto vendita hanno spinto le aziende che si occupano di logistica ad un riesame critico dei servizi offerti.

All'interno di questo tipo di mercato i cambiamenti strategici risultano la via principale da adottare per acquisire competitività.

Secondo analisi effettuate sul territorio nazionale, in primo luogo vi sarà una sempre maggiore diminuzione delle dimensioni dei punti vendita, nei quali la maggior parte dello spazio sarà adibita ad esposizione mentre vi sarà una significativa diminuzione delle superfici di stock.

Il retailer avrà inoltre la possibilità di gestire in modo autonomo tutta la catena distributiva e tutte le architetture che la compongono, che hanno caratteristiche e peculiarità differenti.

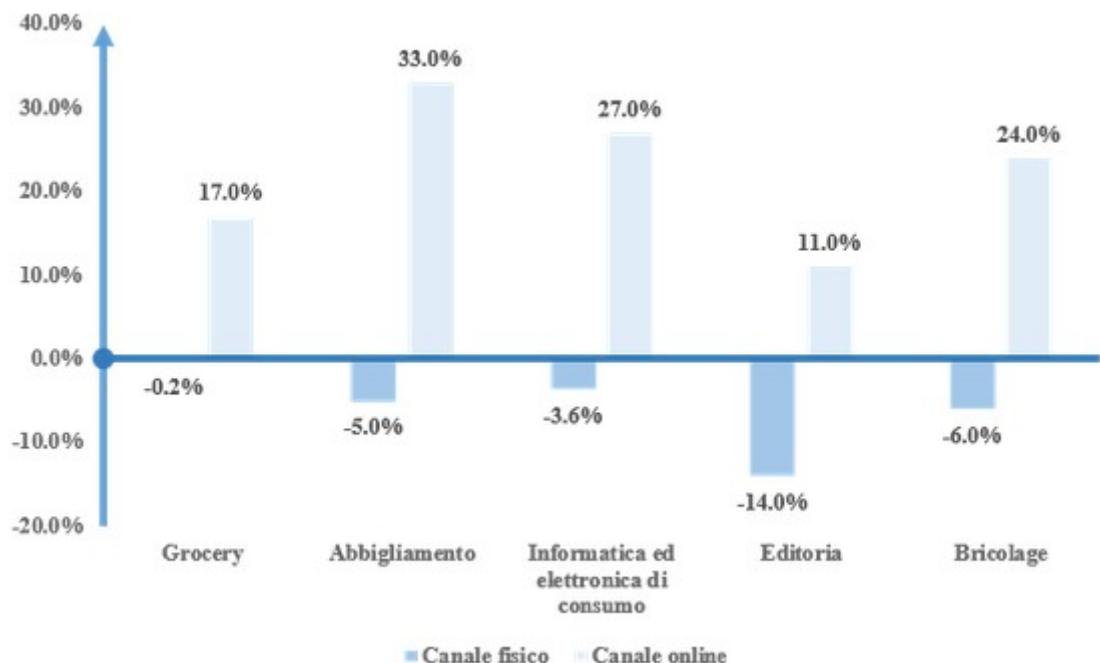
Accanto allo sviluppo di innovativi punti vendita si andranno ad affermare sempre più nuove modalità di vendita, in particolare l'*E-commerce B2C*, questi nuovi processi di distribuzione sono nati dal cambiamento del comportamento di acquisto dei consumatori, la ricerca del dettaglio e del particolare diventa fondamentale per clienti sempre più esigenti nell'acquisto anche dei beni di largo consumo. Internet ha segnato una svolta epocale nelle comunicazioni, aprendo nuovi orizzonti e diventando uno strumento indispensabile per tutte le aziende moderne (Figura 1.2).



Figura 1.2: Andamento delle vendite non alimentari del canale *E-commerce* in Italia dal 2008 al 2012.

Gli strumenti offerti dal Web per il mondo degli affari, come appunto il commercio elettronico (*E-commerce*), hanno dimostrato di essere più efficaci rispetto ai mezzi pubblicitari ed ai metodi di vendita tradizionali, permettendo ad aziende che in passato operavano esclusivamente in ambito locale, di ampliare i propri orizzonti commerciali a livello nazionale ed internazionale. Le aziende che decidono di usufruire del Commercio Elettronico, intraprendendo attività di vendita online di beni o servizi, devono affrontare, oltre allo sviluppo del negozio virtuale, diverse problematiche quali la gestione della logistica, l'applicazione di specifiche norme legislative e fiscali, l'adeguamento tecnologico della propria infrastruttura informatica (Figura 1.3).

La sempre maggior rilevanza dei volumi relativi al canale online porterà i retailer ad interrogarsi su quale sia il miglior modello di gestione per evitare conflittualità tra canale fisico e canale online e creare delle sinergie positive.



All'interno dei negozi stessi diventerà fondamentale l'aspetto tecnologico, la possibilità ad esempio di consultare cataloghi online con file e immagini multimediali, che servono a comprendere meglio ad esempio le caratteristiche del prodotto e tutto ciò che porta il consumatore a scegliere in un mercato con elevata concorrenza proprio il prodotto offerto.

Il negozio diventa così un vero veicolo di comunicazione, dove il cliente può osservare, conoscere e soddisfare le proprie curiosità in merito ad un determinato prodotto, la dimensione emozionale dell'offerta e il suo contenuto simbolico diventano gli elementi principali del nuovo meccanismo di vendita.

In riferimento ad un mercato dominato dall'instabilità della domanda e dalla sua ampia e costante variabilità, le aziende devono dimostrare di poter adattarsi ai continui cambiamenti e alle sempre più frequenti situazioni di incertezza, rispondendo prontamente alle esigenze del mercato e dei consumatori. Per questo motivo l'importanza dei prodotti continuativi sarà sempre più limitata, diventerà invece fondamentale introdurre sul mercato un gran numero di prodotti nuovi nel corso dell'anno.

La gamma di prodotti diventerà così molto ampia, costringendo le aziende ad investire molto nel campo della ricerca al fine di avere sempre prodotti all'avanguardia senza incidere troppo sul prezzo di vendita.

Appare dunque evidente come il settore logistico abbia acquisito un ruolo strategico all'interno della *supply chain*, in particolare risulta fondamentale l'importanza del centro distributivo.

La descrizione del contesto effettuata nelle righe precedenti evidenzia l'impatto dell'evoluzione in atto sui centri distributivi e sull'offerta di tecnologie e sistemi innovativi per la movimentazione della merce all'interno degli stessi.

Dall'altra parte dal punto di vista del cliente e quindi dal lato dell'offerta, il mercato dei fornitori dei sistemi per la movimentazione e lo stoccaggio dei materiali nei centri distributivi ha mantenuto un trend positivo e la crescita dei fatturati risulta essere costante nel corso degli anni.

Nonostante la crisi economica in atto le percentuali di crescita sono comunque confortanti, osservando i dati di questo ultimo anno si è passati da un incremento di fatturato del 10% del 2012

al 6% per l'anno 2013.

Le principali aziende mondiali fornitrice di servizi per il material handling sono state inserite in una classifica che raccoglie i dati di fatturato negli anni 2011 e 2012 (Figura 1.4).

Top 20 worldwide materials handling systems suppliers

2012 Rank	Company	Web site	2011 Rank	Worldwide 2011 revenue (US\$)	Worldwide 2012 revenue (US\$)	Headquarters
1	Schaefer Holding International GmbH	ssi-schaefer.us	1	2.5 billion	2.57 billion	Neunkirchen, Germany
2	Daifuku Co., Ltd.	daifuku.com	1	2.5 billion	2.37 billion	Osaka, Japan
3	Dematic	dematic.us	2	1.3 billion	1.3 billion	Luxembourg
4	Murata Machinery, Ltd.	muratec-usa.com	3	1.05 billion	1.05 billion	Kyoto, Japan
5	Mecalux, S.A.*	mecalux.com	4	952 million	952 million	Barcelona, Spain
6	Vanderlande Industries	vanderlande.com	5	747 million	785 million	Veghel, The Netherlands
7	Beumer Group GmbH	beumergroup.com	8	657 million	722 million	Beckum, Germany
8	Swisslog AG	swisslog.com	6	617 million	680 million	Buchs, Switzerland
9	Kardex AG	kardexremstar.com	7	596 million	630 million	Zurich, Switzerland
10	Intelligrated	intelligated.com	10	435 million	524 million	Mason, Ohio
11	Fives Group*	fivesgroup.com	9	508 million	508 million	Paris, France
12	Knapp AG	knapp.com	11	423 million	490 million	Hart bei Graz, Austria
13	TGW Logistics Group GmbH	tgw-group.com	12	394 million	473 million	Wels, Austria
14	KUKA Systems North America **	kuka-systems.com	13	352 million	352 million	Sterling Heights, Mich.
15	Witron Integrated Logistics, Inc.	witron.com	15	270 million	300 million	Arlington Heights, Ill.
16	FlexLink AB*	flexlink.com	16	228 million	228 million	Allentown, Pa.
17	Wynright *	wynright.com	17	216 million	216 million	Elk Grove, Ill.
18	System Logistics	systemlogistics.com	N/A	107 million	207 million	Fiorano, MO, Italy
19	Dearborn Mid-West Company	dmwcc.com	20	110 million	155 million	Taylor, Mich.
20	Elettric 80	elettric80.com	19	120 million	147 million	Viano, RE, Italy

* 2011 revenues. 2012 revenues not available by press time.

** 2011 revenue for North American sales.

Figura 1.4: Classifica delle prime 20 aziende mondiali fornitrice di sistemi per la movimentazione dei materiali

Dalla classifica si nota come tra le prime aziende non ci siano suppliers americani ma la stragrande maggioranza siano europei o asiatici. Alla base di questa evidenza c'è la necessità dei paesi euro-asiatici di ottimizzare gli spazi e di organizzare al meglio la presenza dei magazzini e dei depositi sul territorio.

Questa necessità è meno forte negli USA, dove abbiamo forte industrializzazione ma gli ampi spazi del territorio americano consentono alle zone adibite al deposito dei materiali di sfruttare la vastità delle aree a disposizione, l'ottimizzazione dello spazio non rappresenta al momento la necessità principale della logistica statunitense.

1.1.2 L'evoluzione dei centri distributivi

Tutti i cambiamenti descritti nel paragrafo precedente portano conseguenze importanti sull'impostazione della logistica aziendale.

La sfida per le aziende risulta quella di valutare l'impatto del cambiamento in atto, poiché sicuramente la *retail logistics* nel futuro immediato sarà molto differente da quella degli ultimi anni; sviluppare una buona strategia logistica permetterà di acquisire un vantaggio competitivo importante.

In questa nuova situazione di mercato tutto si basa sulla velocità e sulla precisione, inoltre i costi operativi vanno limitati il più possibile.

Il *picking* è l'attività più critica di un centro distributivo e, di conseguenza, risulta decisiva anche per il successo della relativa *supply chain* (Figura 1.5): i centri distributivi devono essere appositamente progettati per ottimizzare il processo di evasione degli ordini e gestire il ritorno dei resi rendendoli disponibili per la vendita nel minor tempo possibile. I tempi di risposta brevi sono un obbligo, i prodotti devono essere spediti in tempi brevissimi rispetto al momento del loro ordine. Una scarsa efficienza e/o efficacia dell'attività di *picking* tende, infatti, a vanificare i tentativi di ottimizzazione delle prestazioni dell'intera catena produttiva. Il prelievo e la fase di allestimento ordini rappresentano il momento nel quale vengono soddisfatte le richieste del cliente: un errore commesso in questa fase si traduce automaticamente in una mancata corrispondenza tra "ordinato" e "consegnato". L'accuratezza degli ordini, quindi, è strettamente legata all'accuratezza dell'attività di *picking*.

Trattandosi di un'attività fortemente *labour-intensive* (se manuale) o *capital-intensive* (se automatizzata), in un normale centro distributivo il *picking* rappresenta l'attività più costosa: è stato, infatti, dimostrato che più del 50% dei costi operativi complessivi di un centro distributivo è attribuibile al *picking* [De Koster et al. (2007), Tompkins et al. (2010)].

. Di conseguenza, anche piccole perdite di efficienza nell'attività di *picking* impattano pesantemente sui costi operativi del centro distributivo.

Oggi i clienti richiedono ai distributori consegne più frequenti e una maggiore accuratezza: ciò significa che i centri distributivi devono processare un numero maggiore di ordini di più piccole dimensioni (minore numero di righe per ordine e minor numero di pezzi per riga) rispettando tempi di consegna più ristretti.

Tra le molteplici cause alla base di tale evoluzione si riscontrano:

- 1) la tendenza dei clienti ad adottare la politica JIT con l'obiettivo di ridurre il livello delle scorte. La minimizzazione delle scorte è un obiettivo ormai comune a più aziende, dettato principalmente da due fattori:
 - l'elevato costo di mantenimento delle scorte;
 - la continua riduzione del ciclo di vita dei prodotti.
 Adottando questa politica, i clienti inviano gli ordini agli stadi a monte con un anticipo sempre più ridotto: molte aziende si stanno avvicinando addirittura al modello di rifornimento tipico del settore farmaceutico.
- 2) Il continuo ampliamento della gamma di prodotti: ciò contribuisce a ridurre la quantità media richiesta per riga d'ordine.
- 3) la diffusione dell'*E-commerce*: gli ordini effettuati attraverso questo canale sono solitamente costituiti da un numero ridotto di righe e la quantità per riga d'ordine è piuttosto contenuta;
- 4) la condizione di maturità dei mercati: in fase di maturità, i consumi sono stabili e l'offerta supera la domanda, di conseguenza il potere contrattuale è nelle mani dei clienti e ciò crea una forte competitività tra i fornitori. Il mercato tende a chiedere un elevato livello di

servizio a un prezzo vantaggioso: vengono ricercati, in particolare, tempi brevi di consegna, elevata accuratezza degli ordini ed elevata puntualità di consegna.

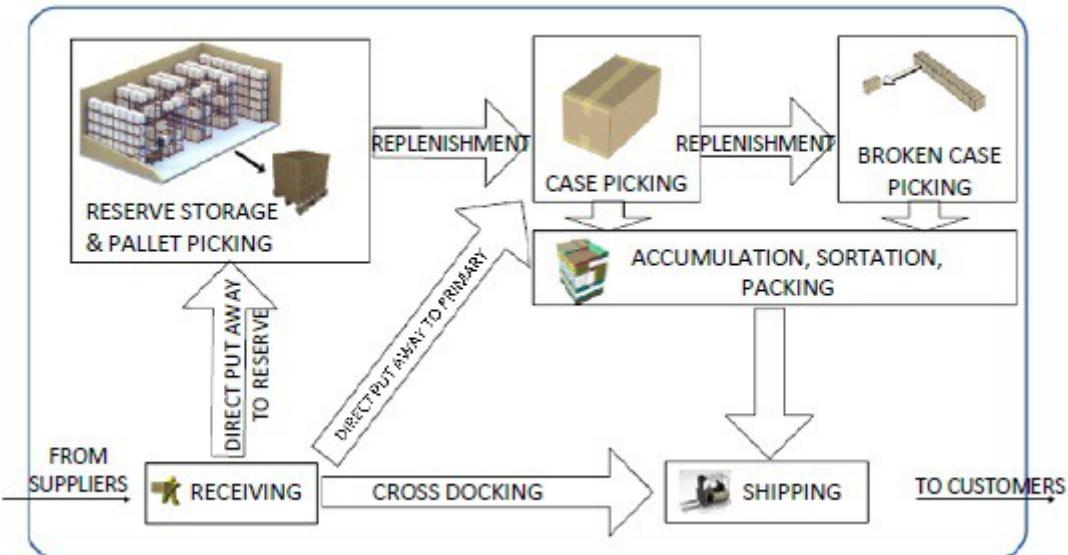


Figura 1.5:Aree funzionali e flussi di materiali all'interno di un centro distributivo

L'insieme di questi fenomeni richiede all'attività di *picking* di:

- gestire un numero maggiore di articoli;
- incrementare il throughput (numero di righe evase al giorno);
- movimentare più spesso singoli oggetti anziché cartoni;
- incrementare l'accuratezza.

L'obiettivo ultimo della maggior parte dei centri distributivi è riuscire a soddisfare tali necessità senza ricorrere ad un incremento della manodopera e/o degli *equipment*, ma aumentando la produttività del sistema di *picking* esistente: si tratta spesso di un obiettivo difficile da raggiungere, che richiede prima di tutto un'attenta analisi del sistema (individuazione dei colli di bottiglia, stima delle prestazioni, individuazione delle leve di miglioramento ecc...).

L'automazione dei magazzini risulta spesso la via da intraprendere per far fronte a queste nuove esigenze di mercato, sempre più aziende dopo attente analisi di costi e benefici ritengono vantaggioso per la progettazione del magazzino la soluzione automatica.

Al tempo stesso tutte le aziende fornitrice di servizi logistici stanno investendo capitali per rendere sempre più competitive le proprie macchine rispetto alle soluzioni manuali, essendo un mercato molto nuovo è in costante evoluzione, innovative soluzioni logistiche sono disponibili per i clienti con frequenza elevata.

Nella letteratura tradizionale, l'automazione del magazzino è stata definita come "il controllo diretto e la gestione da parte di un software di sistemi di movimentazione per il trasporto e lo stoccaggio della merce senza bisogno di operatori o driver ". L'automazione del magazzino è un termine che comprende quindi sistemi di prelievo e stoccaggio automatico (AS / RS), veicoli a guida automatica (AGV) e sistemi di smistamento con nastro trasportatore, ma esclude tutte le tecnologie in cui sono ancora necessari gli operatori di magazzino.

La decisione di automatizzare è vista come una scelta da prendere fin dal principio nel processo di progettazione del magazzino ma si tratta di un'operazione strategica che ha un impatto a lungo

termine.

Nella letteratura, la logica dietro la quale un'azienda decide di automatizzare i propri impianti risiede essenzialmente nel favorire la crescita, ridurre i costi operativi, migliorare il servizio clienti, ridurre il personale, consolidare le scorte, migliorare la precisione, aumentare l'indice di rotazione delle scorte e migliorare l'immagine dell'azienda.

I maggiori ostacoli all'adozione di automazione del magazzino sono legati alla reale efficacia di automazione sia in termini di flessibilità sia in termini costo. Infatti, in molti casi, il focus della gestione della *supply chain* è spostato verso il servizio al cliente e, in particolare sulla reattività rispetto alle variazioni del mercato.

In questi termini, nella letteratura esistente, vi è il dubbio che i sistemi automatizzati possano non essere sufficientemente flessibili per soddisfare le mutevoli esigenze del mercato, in termini di *throughput* e profilo dell'ordine nel tratto di vita utile delle apparecchiature. Al contrario, alcuni autori hanno suggerito come potenziale campo di applicazione per i sistemi automatici di stoccaggio proprio centri di distribuzione che devono servire mercati particolarmente volatili.

Per quanto riguarda i costi, l'automazione del magazzino è spesso considerata come una soluzione conveniente solo in caso di movimentazione di grandi volumi di merce. Per quanto riguarda i problemi che si incontrano durante la progettazione di un magazzino automatico, la letteratura mette in evidenza come che tali progetti sono normalmente molto complessi, poiché coinvolgono una serie di diversi sistemi che devono essere progettati e sviluppati in parallelo, tra cui l'apparecchiatura stessa, il software di gestione e l'edificio che quasi sempre è una struttura autoportante. Uno studio ha dimostrato che l'automazione può comportare importanti rischi a livello di servizio, potrebbero verificarsi spesso errori generati dai motivi più svariati e questi devono essere previsti e affrontati già in fase di progettazione per evitare onerosi fermi macchina durante il funzionamento. Altre preoccupazioni principali, non meno rilevanti delle precedenti, sono le questioni legate al cambiamento della cultura del lavoro, il sistema automatico si pone in un'ottica completamente differente rispetto ai tradizionali sistemi manuali.

In sintesi, la letteratura fornisce un buon numero di studi riguardanti l'automazione di magazzino e i vantaggi e gli svantaggi derivanti dalla sua adozione sono ben definiti. Tuttavia, una chiara comprensione di questo tema con riferimento alle più recenti soluzioni sviluppate dai fornitori di movimentazione dei materiali è ancora carente.

Questa tesi si propone quindi di rispondere ad alcune domande che risultano sorgere spontanee durante la lettura di questo capitolo introduttivo.

Le nuove tecnologie sono in grado di rispondere alle attuali esigenze delle aziende? Quali vantaggi portano i nuovi sistemi di movimentazione della merce in termini di costo e flessibilità?

1.2 Obiettivi della ricerca

Tutti i fattori elencati precedentemente hanno portato le aziende ad utilizzare l'automazione come mezzo per affrontare i problemi del mercato e i fornitori di servizi logistici a sviluppare nuove soluzioni ad alto contenuto tecnologico che possono cambiare il modo di operare dei centri di distribuzione.

La struttura del mercato dei fornitori di tutti i sistemi di material handling è molto articolata, le nuove tecnologie e le idee innovative dei progettisti hanno permesso ad alcune aziende di nascere ed avere subito un ruolo importante, aziende apparentemente giovani grazie ai loro prodotti con un

grande contenuto tecnologico innovativo sono cresciute acquisendo quote di mercato sempre più ampie, diventando per le grandi aziende concorrenti a tutti gli effetti.

Uno degli obiettivi di questa tesi è fare una panoramica dei fornitori e delle tecnologie di sistemi proposte attualmente sul mercato. Proprio a causa della grande moltitudine di soluzioni offerte spesso le aziende si trovano di fronte ad effettuare delle scelte senza conoscere a fondo tutta la varietà dei prodotti che il mercato offre, le loro caratteristiche e i relativi costi e benefici.

Anche se è indispensabile per il successo delle imprese che i magazzini siano progettati in modo che funzionino efficacemente e costino il meno possibile, relativamente poco è stato scritto in riviste scientifiche internazionali sull'approccio sistematico che dovrebbe essere adottato dai progettisti di magazzino. In letteratura negli articoli che trattano questi argomenti ci sono alcuni aspetti contrastanti sull'efficacia dei sistemi automatici sia in termini di funzionalità sia in termini di costo .

La presente ricerca, da un lato, contribuirebbe alla letteratura già esistente fornendo una chiara e completa classificazione delle soluzioni per la movimentazione automatica della merce all'interno dei centri distributivi. D'altra parte, l'obiettivo mira ad aumentare la consapevolezza delle imprese nel momento in cui si prendono decisioni sul livello di automazione da adottare e a supportare i progettisti nella scelta della giusta tecnologia che meglio si adatta alle loro esigenze e agli obiettivi che l'azienda si è posta, valutando nuove soluzioni per la movimentazione del materiale in termini di prestazioni del sistema, di analisi di vantaggi e svantaggi e di aree di applicazione.

Ogni impresa nel momento dell'acquisto richiede caratteristiche particolari, il più possibile inerenti alle necessità del proprio centro distributivo, proprio per questo motivo questa tesi si propone anche come una guida che illustri al compratore del servizio logistico tutte le soluzioni offerte dal mercato e sia di aiuto per effettuare la scelta che vada ad ottimizzare le caratteristiche dell'impianto in cui verrà utilizzata.

Questa tesi vuole fornire una panoramica delle soluzioni per la movimentazione automatica della merce presenti sul mercato attraverso la descrizione del loro funzionamento e delle loro caratteristiche tecniche.

Inoltre verrà presentata un classificazione di tali soluzioni sulla base di diversi assi (indice di saturazione superficiale, capacità di movimentazione, modularità, ecc.).

Tale classificazione risulta essere uno strumento utile che si pone l'obbiettivo di facilitare il confronto tra le alternative offerte dei fornitori e supportare il processo decisionale di scelta delle soluzioni più idonee alle esigenze richieste dalle aziende.

In questa tesi viene anche presentato lo studio specifico di un centro distributivo esistente.

L'obiettivo in questo caso è stato quello di analizzare alcune problematiche relative alla gestione del sistema, proponendo degli interventi migliorativi al fine di ottimizzare il funzionamento dell'impianto automatico in essere.

Grazie alla cortesia dell'azienda Neologistica è stato possibile visitare l'impianto e lavorare in loco per produrre soluzioni utili al miglioramento delle logiche che gestivano il centro di distribuzione e in particolar modo la parte riguardante l'accettazione e lo stoccaggio dei pallet all'interno del magazzino automatico (Figura 1.6).



Figura 1.6: Il centro distributivo di Neologistica a Origlio

L'elevato livello tecnologico del magazzino di Neologistica ha permesso di analizzare concretamente ciò di cui si parlerà a lungo nei capitoli riguardanti le soluzioni tradizionali, valutare l'effettiva efficienza, il funzionamento e le prestazioni cinematiche dei traslo elevatori e dei miniload.

Inoltre si è potuto osservare da vicino il funzionamento e la complessa gestione di un impianto reale che è quindi soggetto a errori imprevisti, a fermi impianto parziali o totali, a situazioni in cui il sistema lavora a potenzialità ridotta mentre altre un cui è costretto a soddisfare picchi di carico al limite della propria potenzialità.

L'obiettivo di quest'ultima parte di tesi è appunto quello di interfacciarsi con un sistema esistente molto complesso per cercare di comprenderne a fondo le logiche e acquisire una certa sensibilità nel capire le problematiche dei sistemi automatici, che spesso non sono di immediata lettura e non offrono una soluzione semplice ed univoca.

L'azienda richiedeva un incremento del *throughput* sia in *input* che in *output*, un minore intasamento della zona di ricircolo dei pallet al fine di velocizzare l'uscita e l'ingresso dei pallet dal magazzino automatico, di conseguenza maggiore rapidità nello scarico dei camion sulle banchine di ricevimento e ottimizzazione del lavoro alle stazione *picking* con una velocità più elevata di allestimento ordini.

Proporre modifiche ad un sistema automatico come quello di Neologistica ha comportato un lavoro oneroso poiché gestire un sistema governato da una grande numero di variabili implica il monitoraggio costante, la giusta ottimizzazione delle logiche del software di sistema necessita di numerose prove e quindi di costanti cambiamenti al fine di ottenere concreti benefici nel lungo periodo.

Volendo sintetizzare, gli obiettivi del presente lavoro sono i seguenti:

- Individuazione della panoramica delle tecnologie attualmente proposte sul mercato (compreso il capire struttura del mercato di fornitori di material handling)
- Classificazione delle soluzioni
- Studio specifico sul miglioramento di una soluzione automatizzata esistente (Neologistica)

1.3 Metodologia

In questo paragrafo si intende trattare la scelta e la progettazione della metodologia di studio utilizzata, determinata in funzione dell'ampio campo d'analisi preso in considerazione nella ricerca e dagli obiettivi sopra descritti.

Nella progettazione della ricerca e nello studio di quanto si andrà a trattare in questa tesi è innanzitutto necessario considerare quanto è già stato scritto in letteratura su tale argomento e i modi attraverso i quali i diversi autori si sono approcciati all'analisi dei sistemi automatici, ossia il modo di analizzare, comprendere e spiegare il tema e le soluzioni da studiare.

La metodologia di questa tesi allo scopo di raggiungere gli obiettivi citati si concentra anche nell'attività di generalizzazione e classificazione di queste soluzioni, ossia la mappatura ed analisi delle informazioni e dei dati, effettuando una divisione in categorie finalizzata alla costruzione di un modello di sistema per mezzo della identificazione delle caratteristiche, degli aspetti critici e dei vantaggi associati alla soluzione progettata dal particolare fornitore.

La generazione di un modello o di una nuova proposta di classificazione è possibile per mezzo della identificazione e della comprensione delle relazioni esistenti tra le variabili più rilevanti.

Una volta terminato lo studio della letteratura e l'analisi degli articoli scientifici, la ricerca è stata approfondita e integrata attraverso l'analisi dei siti di un elevato numero di fornitori delle soluzioni per il material handling (circa 15 aziende).

Questa fase del lavoro è stata fondamentale vista l'assenza di studi in letteratura con oggetto le tecnologie più recenti.

La ricerca è stata condotta partendo dai siti dei fornitori più importanti attivi sul mercato nazionale ed internazionale, fino a quelli di minore importanza che operano in un mercato di nicchia ma che hanno comunque sviluppato progetti innovativi ad alto contenuto tecnologico e che quindi devono essere presi in considerazione nella nostra analisi e all'interno della nostra classificazione dei sistemi di handling.

Attraverso questo tipo di studio sul Web è stato possibile conoscere il punto di vista dell'azienda produttrice e il modo di proporsi sul mercato sfruttando le caratteristiche migliori dei propri prodotti.

Durante la ricerca delle descrizioni delle macchine e delle relative caratteristiche tecniche e cinematiche si sono spesso trovate alcune difficoltà ed è stato richiesto un alto senso critico per riuscire alcune volte a distinguere e quindi ad eliminare le informazioni a valenza puramente commerciale che risultano poco utili ai fini dello sviluppo degli obiettivi di questa tesi.

Inoltre la riservatezza delle aziende ha reso difficile l'approfondimento a livello tecnico dei sistemi automatici che sono il più delle volte descritti a carattere generale.

Al fine di ottenere un maggior numero di informazioni è stato necessario conoscere il mercato di prima persona incontrando alcuni fornitori di sistemi automatici per magazzino, inoltre per ottenere un quadro completo del settore sono state raccolte informazioni intervistando le aziende, ovvero coloro che investono capitali per acquistare le soluzioni automatiche offerte.

Il punto di vista di quest'ultimi risulta particolarmente importante poiché i loro desideri e le loro necessità rappresentano il motore della ricerca e dello sviluppo nel campo dei sistemi automatici, i fornitori seguono le linee guida dettate dai clienti ai fini di progettare soluzioni nuove e sempre più performanti che soddisfino tutte le variabili esigenze dei magazzini moderni.

Questo tipo di attività ci ha permesso di capire come nella grande maggioranza dei casi le soluzioni che portano alla risoluzione dei problemi di logistica di alcune aziende sono già presenti sul mercato, perché già implementate da almeno un fornitore, ma i clienti che sono interessati ad investire nell'automazione non sono a conoscenza di ciò.

Terminata la fase di ricerca attraverso le indagini effettuate nei modi elencati nelle righe precedenti, si è passati ad analizzare i dati al fine di ottenere l'obiettivo principale di questa tesi, ovvero creare dei modelli e classificare tutti i sistemi e le soluzioni studiate per creare uno strumento utile alle aziende che volessero valutare un progetto di automazione per i propri centri distributivi, una classificazione che serva da guida nella scelta delle caratteristiche più consone alla progettazione di un nuovo magazzino automatico o alla risoluzione dei problemi di un impianto già esistente.

Per quanto riguarda lo studio ed il miglioramento del funzionamento del centro distributivo di Neologistica sono state svolte diversi tipi di attività per portare avanti l'obiettivo, ovvero quello di ottimizzare il flusso dei pallet all'interno dell'impianto.

In prima analisi, con l'aiuto del personale lavorativo e con i vertici dell'azienda di Origgio ci si è posti l'obiettivo di individuare e studiare il problema osservando l'impianto in funzione durante i vari momenti della giornata e della settimana, raccogliendo e analizzando dati con occhio critico per elencare i punti del sistema che presentavano qualche anomalia o nei quali potevano essere effettuate delle migliorie.

L'idea iniziale alla base delle informazioni raccolte durante i colloqui e le riunioni con il personale di Neologistica era quella di effettuare modifiche solo a livello di software e non di hardware, le direttive assunte portavano quindi a svolgere un lavoro di dettaglio che non permetteva di modificare la struttura esistente, dovevano essere ottimizzate le logiche del sistema di gestione senza apportare nessuna modifica fisica dell'impianto.

Modifiche macroscopiche dell'impianto avrebbero portato sicuri benefici al funzionamento del sistema ma come detto non potevano essere prese in considerazione a causa dello spazio ridotto e dell'oneroso investimento economico che queste implicano.

Dopo aver assimilato le indicazioni del personale competente dell'azienda è stato necessario raccogliere tutte le informazioni riguardanti la parte dell'impianto per la movimentazione dei pallet e modellizzare la situazione corrente cercando di intuire la logica con la quale erano state determinate le regole di gestione delle precedenze e i vincoli con i quali i pallet si muovevano all'interno del magazzino e sui tratti di convogliatore interessati dalla nostra analisi.

Pur avendo ben chiaro l'obiettivo del lavoro, le difficoltà nel proporre delle modifiche erano insite nel fatto che le proposte di ottimizzazione annotate durante l'osservazione dell'impianto non potevano essere valutate in tempi rapidi, il linguaggio di programmazione del software risulta leggibile e modificabile solo da personale qualificato che offre consulenza esterna all'azienda Neologistica.

Dopo aver progettato delle proposte di interventi migliorativi al sistema è stato possibile, durante

Obiettivi e metodologia della ricerca

ulteriori visite in azienda ad Origlio, valutarne i benefici grazie alla modifica effettiva delle logiche di gestione del software.

Nonostante la forte variabilità delle condizioni di lavoro del centro distributivo e le numerose variabili in gioco, l'osservazione del sistema e le misure effettuate hanno permesso il calcolo di alcuni fattori significativi del comportamento e delle prestazioni del magazzino automatico.

2 Sistemi automatici tradizionali per la movimentazione della merce

In questo capitolo si intende effettuare una sintesi e una descrizione generale di tutte le soluzioni tradizionali sulle quali sono già stati scritti nella letteratura internazionale numerosi articoli scientifici.

Questo lavoro di descrizione e di sintesi sarà utile per ottenere una panoramica completa e generale del mondo dei sistemi automatici per la movimentazione della merce ed effettuare un confronto tra le nuove e le vecchie tecnologie, valutare in termini tecnici l'evoluzione delle prestazioni cinematiche e gli effettivi benefici introdotti sul mercato.

Entrando più nel dettaglio di questi sistemi automatici verranno descritte le Unità di Carico (UdC) movimentate e gli organi di presa con le quali queste ultime vengono caricate e scaricate dalle macchine che effettuano lo stoccaggio della merce o alimentano le stazioni di *picking* del centro distributivo.

2.1 Soluzioni per pallet

Lo stoccaggio dei pallet in un magazzino può avvenire manualmente attraverso l'utilizzo dei classici sistemi di movimentazione merce come carrelli elevatori (frontali, a montante retrattile, bi/trilaterali) oppure attraverso l'utilizzo di un sistema automatizzato.

I magazzini automatici per pallet rappresentano l'evoluzione di quelli manuali in un'ottica di automazione del processo di produzione e quindi di integrazione con linee produttive a elevato grado di automazione.

Un magazzino automatizzato per pallet (Figura 2.1) è formato da scaffalature bifronti in cui i carrelli a forche utilizzati per le operazioni di carico e scarico sono sostituiti con un sistema AS/RS (Automated Storage and Retrieval System) dotato di traslo elevatori che si muovono lungo i corridoi del magazzino.

Ogni traslo elevatore gestisce le movimentazioni all'interno di un singolo corridoio.

In altri casi, invece, un singolo traslo elevatore si può muovere tra i diversi corridoi tramite un binario trasversale posto in testa al magazzino.

L'allocazione dei pallet all'interno della scaffalatura è gestita automaticamente da un sistema informativo centrale WMS (Warehouse Management System). Il sistema di gestione ottimizza le variabili di processo gestendo il magazzino e organizzando le movimentazioni a seconda delle logiche inserite.

Il sistema consente di gestire il magazzino automaticamente con bassi costi di esercizio, assicurando elevate prestazioni in termini di potenzialità di movimentazione, ricettività e controllo (rintracciabilità) dei prodotti stoccati. Lo stoccaggio è intensivo, dal momento che i corridoi possono essere di dimensioni particolarmente ridotte (solitamente corridoi di 1,4 m sono sufficienti a garantire la movimentazione dei pallet, dal momento che non è richiesta la rotazione delle UdC). Il principale limite di questi sistemi è rappresentato dall'elevato costo connesso con la struttura del magazzino (autoportante o prefabbricata) e del sistema di movimentazione e controllo.

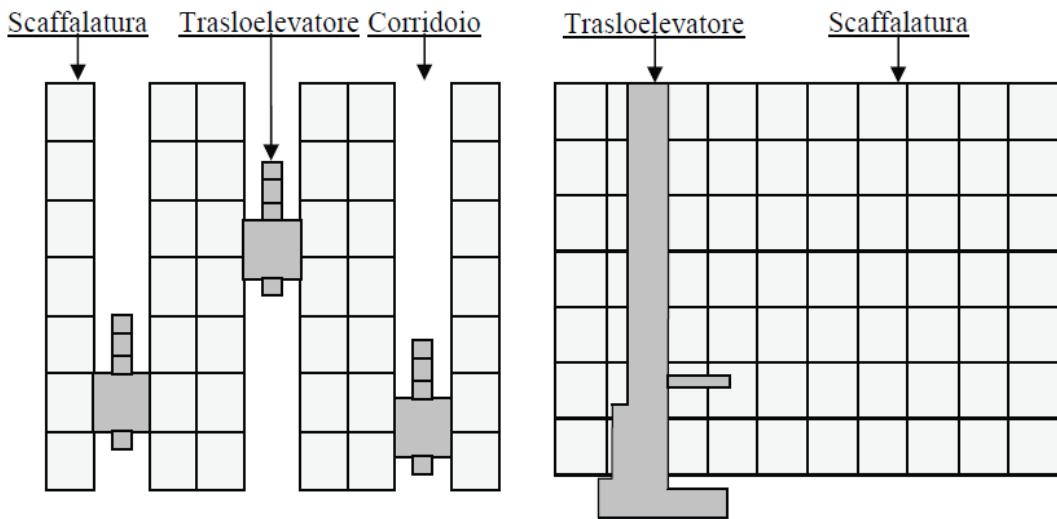


Figura 2.1: Disegno schematizzato di un magazzino automatico

Così come avviene nei magazzini tradizionali, anche nei magazzini automatizzati si possono avere modalità di prelievo/deposito a cicli semplici o combinati.

Un ciclo semplice (o *single command*) movimenta una UdC e può essere di prelievo o di deposito. Il ciclo semplice di prelievo consiste nel raggiungimento dal punto di input/output (I/O) al vano dal quale prelevare l'UdC a vuoto, cioè senza UdC a bordo del trasloelevatore, e nel ritorno al punto di I/O con a bordo l'UdC prelevata.

Il ciclo semplice di deposito consiste invece nel raggiungimento dal punto di I/O del vano nel quale depositare l'UdC con a bordo l'UdC da depositare e nel ritorno al punto di I/O a vuoto.

Un ciclo combinato (o *dual command*) movimenta invece due UdC. Il ciclo combinato consiste nel raggiungimento dal punto di I/O del vano nel quale depositare l'UdC con a bordo l'UdC da depositare, nello spostamento a vuoto verso il vano dal quale prelevare l'UdC e nel ritorno al punto I/O con a bordo l'UdC prelevata.

La modalità di prelievo/deposito a cicli semplici presenta una complessità di gestione inferiore rispetto a quella a cicli composti ma comporta anche una minore efficienza a causa dell'incidenza dei viaggi a vuoto.

Allo scopo di stimare in fase di progetto la capacità di movimentazione di un magazzino, è utile poterne stimare il tempo ciclo. Il tempo ciclo è il tempo medio necessario per effettuare un ciclo semplice o combinato.

Il trasloelevatore (Figura 2.2) è l'elemento principale di un magazzino automatico ed è una macchina per il prelievo e il deposito che non necessita di operatori a bordo caratterizzata dalla possibilità di muoversi simultaneamente lungo la direzione orizzontale e verticale.

Un trasloelevatore è essenzialmente costituito da un telaio mobile scorrevole lungo una colonna verticale, la quale può traslare lungo il corridoio essendo fissata a una trave inferiore poggiante su ruote che scorrono su una rotaia ancorata al pavimento. Il telaio mobile, o piattaforma, è dotato nel caso più semplice di una coppia di forche retrattili per il prelievo delle UdC.

La piattaforma può compiere contemporaneamente due movimenti, uno orizzontale e uno verticale, ai quali consegue un moto composto lungo un tragitto inclinato rispetto ai due movimenti di base.

Ciò permette al trasloelevatore di effettuare percorsi di lunghezza minima negli spostamenti tra due qualsiasi posizione del corridoio.

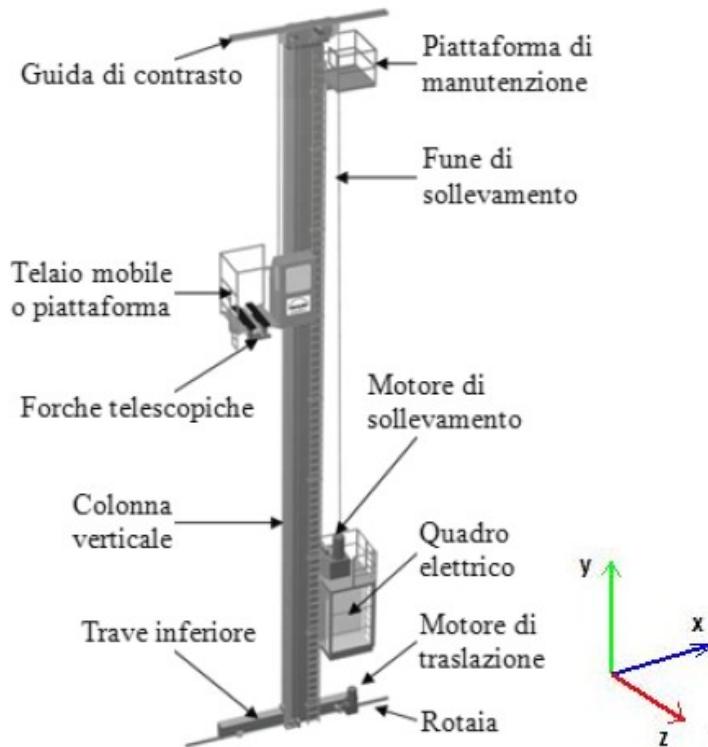


Figura 2.2: Disegno di un trasloelevatore e dei suoi componenti

L'indirizzamento lungo gli assi x e y è ottenuto tramite gli encoder, dispositivi particolarmente precisi posti rispettivamente sulla trave di base e sul telaio mobile. Oltre ai movimenti orizzontali e verticali lungo gli assi x e y, è da tenere presente il movimento trasversale lungo l'asse z delle forche telescopiche per introdurre il carico trasportato nello scaffale o per prelevarlo. Mentre i movimenti lungo gli assi x e y possono aver luogo contemporaneamente, quello sull'asse z ha luogo solo a macchina ferma e correttamente posizionata rispetto al vano dello scaffale o al punto di scarico/prelievo delle UdC in corrispondenza delle testate degli scaffali.

Un elemento che impatta sulle performance dei trasloelevatori è l'organo di presa dell'UdC. In relazione ai requisiti di ciascuna istallazione, questo elemento sarà parametrato per ottenere i risultati migliori.

Il parametro fondamentale da considerare oltre alla velocità di estrazione è la profondità di estrazione, cioè l'estensione massima delle forche essa dipende dal numero di pallet collocati nella scaffalatura: parleremo così di singola profondità quando si colloca un unico pallet su ogni lato e di doppia profondità quando se ne possono posizionare due. In funzione alla relazione tra capacità statica e dinamica in ciascun caso, si utilizzano sistemi a singola profondità, doppia o in rari casi anche tripla.

Nei sistemi a singola profondità, si privilegia la velocità del sistema rispetto alla capacità di stoccaggio, mentre nei sistemi a doppia profondità, si può bilanciare la capacità di stoccaggio e quella di movimentazione, nel caso in cui la prima sia molto superiore alla seconda.

2.1.1 Classificazione traslo elevatori

È possibile effettuare una classificazione dei traslo elevatori in base a:

La posizione nel flusso logistico aziendale:

- Materie prime;
- Semilavorati;
- Prodotti finiti;
- Ricambi e vari di consumo.

La tipologia di stoccaggio:

- Semplice profondità;
- Multiprofondità;

La struttura portante:

- Monocolonna (raccomandato per carichi fino a 1000 kg) (Figura 2.3)
- Bicolonna (consigliato per carichi fino a 1500kg o comunque di grandi dimensioni) (Figura 2.4)



Figura 2.3: Traslo elevatore monocolonna



Figura 2.4: Traslo elevatore

Il peso dell'Udc:

- Carichi leggeri (fino a 100 kg);
- Medi (intorno ai 500 kg);
- Pesanti (da 1.000 kg a 5.000 kg e oltre).

La tipologia dell'organo di presa (che verranno poi descritte nel paragrafo):

- Braccetti telescopici;
- Forche trilaterali;
- Pinze.

Il numero dei pallet ospitabili a bordo contemporaneamente:

- Singolo;
- Doppio .

2.1.2 Caratteristiche tecniche

In questo paragrafo sono stati raccolti in alcune tabelle tutti i dati tecnici disponibili per le soluzioni automatiche analizzate.

In Tabella 1 sono riportati i dati relativi a traslo elevatori bicolonna mentre in Tabella 2 sono riportati quelli relativi ai traslo elevatori monocolonna.

	Mecalux	TGW Magnus	Jungheinrich
Colonne portanti	bicolonna	bicolonna	bicolonna
Altezza massima	45 m	18 m	45 m
Carico massimo ammesso	1500 kg	1250 kg	7000 kg
Velocità massima di traslazione	3 m/s	4 m/s	4 m/s
Velocità massima di elevazione	1 m/s	2 m/s	1.6 m/s
Accelerazione massima di traslazione	0.45 m/s ²	2 m/s ²	n.d
Accelerazione massima di elevazione	0.8 m/s ²	2 m/s ²	n.d
Temperatura di esercizio	da -30°C a +40°C		
Dimensioni massime del carico	1100×1300×2400 mm		

Tabella 1: Caratteristiche tecniche di alcuni traslo elevatori bicolonna

	Swisslog Vectura	System Logistics	Mecalux
Colonne portanti	monocolonna	monocolonna	monocolonna
Altezza massima	50 m	36 m	45 m
Carico massimo ammesso	3000 kg	3000 kg	1000 kg
Velocità massima di traslazione	4 m/s	4 m/s	3.6 m/s
Velocità massima di elevazione	1.5 m/s	n.d	1.1 m/s
Accelerazione massima di traslazione	n.d	n.d	0.45 m/s ²
Accelerazione massima di elevazione	n.d	n.d	0.5 m/s ²
Temperatura di esercizio	da -34°C a 40°C	da -30°C a +40°C	n.d
Dimensioni massime del carico	1100×1300×2400 mm		

Tabella 2: Caratteristiche tecniche di alcuni traslo elevatori monocolonna

I diversi fornitori offrono sistemi con prestazioni abbastanza simili, le performance di velocità e accelerazione sono bilanciate rispetto al carico massimo ammissibile e all'altezza massima di stoccaggio.

2.2 Soluzione per colli e vassoi

Quando si parla della movimentazione di colli e vassoi nel caso di un centro di distribuzione si fa riferimento all'attività attraverso cui una certa quantità di beni viene prelevata da un sistema di stoccaggio al fine di soddisfare la domanda di clienti tra loro indipendenti, cioè al prelievo degli articoli e delle relative quantità da un'area di prelievo o di stoccaggio intensivo per evadere specifici ordini.

Questa fase, fondamentale in ogni catena di distribuzione, viene denominata *picking* e sta acquistando un ruolo sempre più critico nell'ambito dei sistemi logistici. Il *picking* consiste nel prelievo frazionato di prodotti da UdC di livello superiore, è l'operazione di prelievo con "rottura" dell'UdC, allo scopo di soddisfare le richieste dei quantitativi di prodotti indicati negli ordini di spedizione o di lavorazione.

La rilevanza di una corretta progettazione del sistema *picking* è legata alla criticità in termini di costi e impatto sul livello di servizio, che riveste in molti sistemi logistico-distributivi e anche in taluni contesti produttivi;

Per i motivi elencati nelle precedenti righe, per descrivere al meglio i sistemi tradizionali di movimentazione di scatole e vassoi occorre effettuare una classificazione delle diverse tipologie di Order Picking System (OPS) (Figura 2.5) e comprenderne il funzionamento.

2.2.1 Classificazione dei sistemi di picking

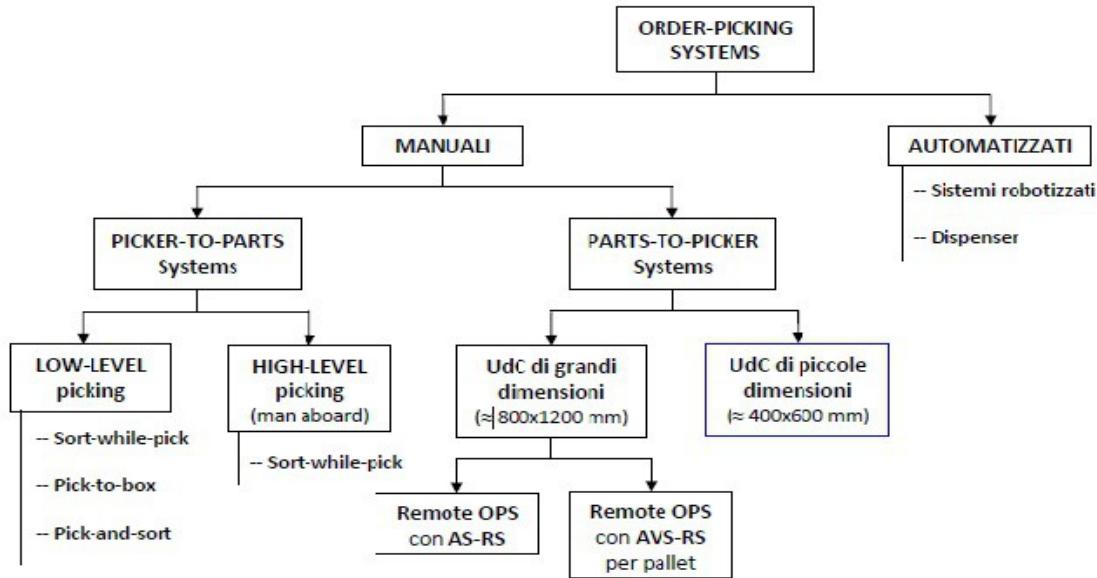


Figura 2.5: Classificazione Order Picking System

Di seguito vengono descritte brevemente le variabili di classificazione.

- OPS manuali vs OPS automatizzati
 - OPS manuali: l'operazione di prelievo degli articoli viene effettuata manualmente dal Picker.
 - OPS automatizzati: l'operazione di prelievo degli articoli viene effettuata in maniera del tutto automatizzata. E' necessario che gli oggetti da prelevare abbiano una forma regolare, trattandosi di sistemi particolarmente costosi, la loro adozione è giustificata solo nei casi in cui è richiesto un throughput elevato.
- *Picker-to-parts systems* vs *Parts-to-picker systems*
 - *Picker-to-parts systems*: il picker si sposta (a piedi o a bordo di un veicolo) all'interno dell'area di stoccaggio per prelevare dalle varie postazioni il materiale richiesto dagli ordini. Alcune decisioni tipiche da prendere in fase di progettazione e controllo di un picker-to-parts OPS sono: il dimensionamento e il layout dello stock di *picking* (quando è separato dallo stock generale), la politica di assegnazione degli articoli alle postazioni di stoccaggio, la logica di costruzione dei percorsi del picker, se e come suddividere l'area di *picking* in zone, se e come adottare il *batch picking*.
 - *Parts-to-picker systems*: un dispositivo automatizzato preleva l'UdC (pallet o contenitore) dall'area di stoccaggio e la trasporta alla postazione di *picking*; qui il picker preleva dall'UdC il materiale richiesto da uno o più ordini-cliente, dopodiché la parte rimanente dell'UdC viene riportata nell'area di stoccaggio mediante lo stesso dispositivo

utilizzato per il prelievo. Alcune decisioni tipiche da prendere in fase di progettazione e controllo di un parts-to-picker OPS sono: la configurazione del sistema, la politica di assegnazione degli articoli alle postazioni di stoccaggio, la politica di sequenziamento dei prelievi e delle immissioni, se e come adottare il *batch picking*.

Punti di forza dei sistemi *parts-to-picker* (rispetto ai sistemi *picker-to-parts*):

- throughput potenzialmente più elevato;
- più facile supervisione del sistema;
- minor rischio di danneggiare i prodotti durante l'attività di *picking*;
- minore occupazione di spazio;
- minore fabbisogno di manodopera.

Punti di debolezza dei sistemi *parts-to-picker* (rispetto ai sistemi *picker-to-parts*):

- maggior costo di investimento;
- maggiore difficoltà di riconfigurazione;
- maggiore manutenzione;
- maggior rischio di creare dei colli di bottiglia a monte delle stazioni di *picking*: essi comportano una riduzione della saturazione dei picker e, di conseguenza, del throughput del sistema.

- *Low level picking vs High level picking*

- *Low level picking*: la somma dei tempi di spostamento del picker fra ciascuna postazione di prelievo e quella successiva è mediamente trascurabile rispetto alla somma dei tempi di trasferimento orizzontale tra le stesse (prendendo come riferimento un numero rappresentativo di missioni di *picking*). In tal caso il picker si sposta autonomamente tra le postazioni di stoccaggio (eventualmente alla guida di un carrello commissionatore motorizzato, che può sollevare il picker da terra per un massimo di 1-1.2 metri) e in una stessa missione di *picking* può visitare più corridoi.
- *High level picking (man aboard)*: la somma dei tempi di spostamento del picker fra ciascuna postazione di prelievo e quella successiva non è mediamente trascurabile rispetto alla somma dei tempi di trasferimento orizzontale tra le stesse (prendendo come riferimento un numero rappresentativo di missioni di *picking*). In tal caso il picker si sposta da una postazione di stoccaggio all'altra mediante un veicolo automatizzato (solitamente un traslocelevatore), su cui rimane a bordo anche durante l'operazione di prelievo. Nella singola missione di *picking* vengono visitate più postazioni collocate nella stessa coppia di scaffalature: il picker, quindi, si muove all'interno di un solo corridoio.

- UdC di grandi dimensioni vs UdC di piccole dimensioni

- UdC di grandi dimensioni: in tal caso la merce è stoccatà in UdC pallettizzate, solitamente di dimensioni pari a 800x1200 mm.
- UdC di piccole dimensioni (Figura 2.6): in tal caso la merce è stoccatà in vassoi o contenitori, di dimensioni pari a 400x600 mm ca. Questa soluzione, quindi, viene adottata quando i prodotti sono di medio-piccole dimensioni.

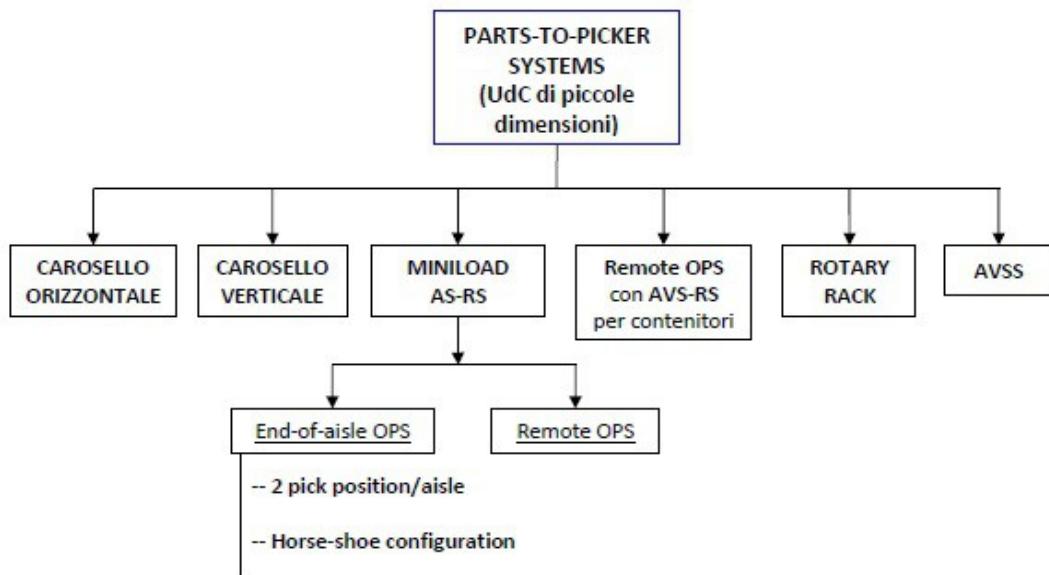


Figura 2.6: Classificazione dei parts-to-picker OPS in caso di UdC di piccole dimensioni

- • *End-of-aisle OPS con AS-RS e 2 pick position/aisle*: si tratta di un sistema composto da un miniload AS-RS (Automated Storage and Retrieval System) e due postazioni di *picking* collocate in testa a ciascun corridoio del miniload (una sul lato della scaffalatura di destra, l'altra sul lato della scaffalatura di sinistra). Quest'ultimo può essere dimensionato per accogliere soltanto lo stock di *picking* oppure l'intero stock generale. L'area di stoccaggio è suddivisa in un certo numero di corridoi, ciascuno dei quali costituito da due scaffalature parallele identiche in cui alloggiano le UdC e tra cui scorre, su rotaie, un traslogevatore del tutto simile a quello descritto nel paragrafo precedente per la movimentazione dei pallet ovviamente di dimensioni e peso molto inferiori, in grado di muoversi contemporaneamente sia in direzione verticale che in direzione orizzontale, responsabile di tutti i prelievi e di tutte le immissioni effettuati all'interno del corridoio.
- Nei sistemi *end-of-aisle* con *2 pick position/aisle* il miniload ha, nella maggior parte dei casi, un numero di traslogevolatori pari al numero di corridoi. Per quanto riguarda invece i picker, può succedere che il numero di operatori sia minore del numero di corridoi, cioè il singolo picker debba servire più corridoi. Per comprendere il funzionamento di un *end-of-aisle OPS con 2 pick position/aisle*, si supponga che il picker abbia appena terminato di processare il contenitore collocato nella postazione B e che il traslogevatore si trovi nella postazione di input/output (senza alcun contenitore a bordo). A questo punto, mentre l'operatore processa il contenitore collocato nella postazione A, il traslogevatore preleva quello nella postazione B e lo riporta in una cella di stoccaggio all'interno del corridoio; non appena terminata l'operazione di immissione, il traslogevatore si porta in corrispondenza di un'altra cella di stoccaggio, preleva il nuovo contenitore e lo trasferisce alla postazione B. Se il picker ha già terminato di processare il contenitore collocato in A, il traslogevatore preleva quel contenitore e ripete il precedente ciclo di movimentazione. In caso contrario, il veicolo rimane fermo alla postazione di input/output finché non è terminata l'operazione di *picking* dal contenitore in A. Quindi, in quest'ultimo caso è il traslogevatore ad essere caratterizzato da una certa inattività, mentre nel primo caso è l'operatore a rimanere inattivo per un certo tempo. Da ciò si evince che, se a regime c'è sempre almeno una richiesta di prelievo in coda a ciascun traslogevatore, il ciclo di movimentazione dei veicoli risulta

essere sempre un ciclo combinato.

Il singolo ordine viene interamente processato in una sola *picking station* e, quindi, tutti gli articoli da esso richiesti devono essere stoccati nello stesso corridoio.

- *End-of-aisle OPS con AS-RS e horse-shoe configuration* : si tratta di una variante dell'*end-of-aisle OPS con 2 pick position/aisle*. In testa a ciascun corridoio del miniload, infatti, sono presenti più di due postazioni per contenitori: più precisamente, sono presenti un “buffer input” (avente una certa capacità), un “buffer output” (avente una capacità non necessariamente uguale a quella del “buffer input”) e una postazione da cui il picker processa i contenitori. Le varie postazioni sono disposte a ferro di cavallo (da qui la denominazione *horse-shoe configuration*). Il passaggio dei contenitori da una postazione all’altra avviene per mezzo di un sistema di convogliamento automatizzato. I contenitori che devono ancora essere processati dal picker vengono scaricati dal trasloelevatore nel buffer input, mentre i contenitori che sono già stati processati dal picker, vengono convogliati nel buffer output in attesa del trasloelevatore. Come per gli *end-of-aisle OPS con 2 pick position/aisle*, anche in questo caso il singolo ordine viene interamente processato in una sola *picking station* e, quindi, tutti gli articoli da esso richiesti devono essere stoccati nello stesso corridoio.



Figura 2.7: Layout del singolo corridoio di un end-of-aisle OPS con AS-RS e horse-shoe configuration

Grazie alla presenza del buffer input e del buffer output, nei sistemi *end-of-aisle* con configurazione *horse-shoe* (Figura 2.6) c’è un maggiore disaccoppiamento tra il

trasloelevatore e il picker rispetto ai sistemi *end-of-aisle* con 2 *pick position/aisle*: ciò consente di ridurre l'eventuale inattività delle due risorse dovuta a differenze nei tempi di servizio e, quindi, può portare ad un incremento del *throughput* del singolo corridoio. Può addirittura succedere che un sistema *end-of-aisle* con configurazione *horse-shoe*, in cui è stato effettuato un corretto dimensionamento dei buffer, richieda un numero di corridoi inferiore rispetto all'equivalente sistema *end-of-aisle* con 2 *pick position/aisle*.

Non è detto, quindi, che a causa della presenza dei buffer input e output i sistemi *end-of-aisle* con configurazione *horse-shoe* siano più costosi dei sistemi *end-of-aisle* con 2 *pick position/aisle*: bisogna, infatti, effettuare un dimensionamento ottimo di entrambe le tipologie di sistema e poi confrontarle sulla base del costo totale.

- *Remote OPS* con AS-RS (Figura 2.8): si tratta di un sistema che può essere scomposto in tre sottosistemi :
 - il sistema AS-RS, che può essere dimensionato per accogliere soltanto lo stock di *picking* oppure l'intero stock generale;
 - l'insieme delle stazioni di *picking*: non ci sono vincoli sul numero delle *picking station* poiché si tratta di stazioni “remote”, cioè stazioni fisicamente separate dall'area di stoccaggio;
 - il sistema di trasferimento automatizzato delle UdC dal sottosistema 1 al sottosistema 2 e viceversa.

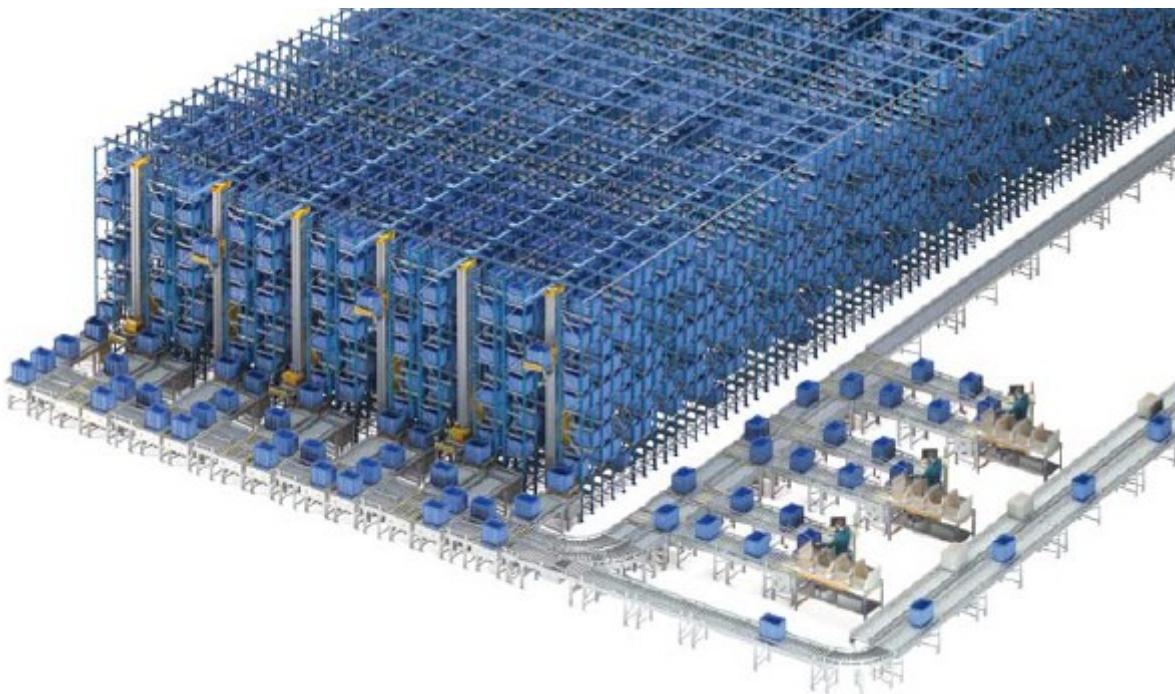


Figura 2.8: Layout di un remote OPS con miniload AS-RS

Le UdC necessarie per l'allestimento degli ordini vengono prelevate dall'AS-RS e trasferite, mediante il sottosistema 3, alle stazioni di *picking*: qui vengono processate dal picker che preleva le quantità di prodotto richieste dagli ordini, dopodiché le UdC vengono riportate all'AS-RS mediante il sottosistema 3. Solitamente vengono ristoccate soltanto le UdC che

contengono ancora delle unità di prodotto, mentre le altre vengono inviate direttamente all'area di rifornimento.

In ogni stazione di *picking* è presente un certo numero (uguale per tutte le stazioni) di buffer input e un certo numero (solitamente pari a uno e uguale per tutte le stazioni) di buffer output: nei primi si accumulano le UdC provenienti dal sottosistema 1 che attendono di essere processate dal picker, mentre nei secondi si accumulano le UdC che sono state processate dal picker e che attendono di essere ritrasferite al sottosistema 1.

Per quanto riguarda il sottosistema 3, nella maggior parte dei casi si tratta di un convogliatore loop (es. un convogliatore a nastro o a rulli), ma esistono anche altre soluzioni adottabili, quale un loop-track AGV system.

Può succedere che, quando un'UdC raggiunge la *picking station* in cui deve essere processata, il buffer input su cui deve essere caricata sia saturo: in tal caso, se il sottosistema 3 è costituito da un convogliatore loop, l'UdC rimane sul convogliatore ed effettua un ricircolo. La stessa cosa succede quando il buffer input del corridoio in cui l'UdC deve essere stoccatata è saturo. Se, invece, il sottosistema 3 non è costituito da un convogliatore loop ma, ad esempio, da un *looptrack AGV system*, in entrambi i casi il veicolo che trasporta l'UdC rimane fermo davanti al buffer input finché non si libera una postazione. Un ordine viene processato in un'unica stazione di *picking*. Le stazioni di *picking* possono operare secondo la logica *order picking* o *batch picking*:

- con la logica *order picking*, il picker processa un solo ordine alla volta e, quindi, preleva dalla singola UdC la quantità di materiale richiesta soltanto dall'ordine in fase di allestimento. L'operatore non può processare UdC di altri ordini finché non sono state servite tutte le UdC richieste dall'ordine attualmente in allestimento. Può succedere che l'operatore rimanga fermo in attesa di una o più UdC richieste dall'ordine in fase di allestimento, nonostante siano presenti in coda una o più UdC associate ad altri ordini. Tale evenienza può verificarsi anche nel caso in cui l'ordine responsabile dell'inattività del picker sia stato "lanciato" prima degli altri ordini presenti in coda, cioè abbia iniziato ad essere processato dall'AS-RS prima degli altri ordini. Ciò deriva dal fatto che:
 - a causa delle dinamiche di funzionamento del sistema, la sequenza di arrivo delle UdC nella singola stazione di *picking* non sempre coincide con la rispettiva sequenza di "lancio" delle richieste di prelievo all'AS-RS;
 - può succedere che una stessa UdC sia richiesta contemporaneamente da più *picking station* e, quindi, bisogna aspettare che essa termini l'allestimento nelle altre stazioni.
- con la logica *batch picking*, il picker processa contemporaneamente più ordini (gli ordini che costituiscono il batch) e, quindi, preleva dalla singola UdC la quantità di materiale complessivamente richiesta da tutti gli ordini del batch contenenti quell'articolo. L'operatore può iniziare a servire le UdC del batch successivo solo dopo aver processato tutte le UdC associate al batch precedente. Anche con la logica *batch picking* può succedere che il picker rimanga inattivo per un certo tempo nonostante siano presenti in coda contenitori di altri batch, ma chiaramente la frequenza di accadimento è minore rispetto alla logica *order picking*. La politica *batch picking* si caratterizza per altri punti di debolezza rispetto alla logica *order picking*:

- il tempo medio di servizio del picker è maggiore perché, dopo aver prelevato dalla singola UdC il quantitativo richiesto da più ordini, egli deve fare attenzione ad inserire la giusta quantità di materiale nelle giuste UdC-cliente;
 - la probabilità che il picker commetta errori è maggiore (per lo stesso motivo indicato al punto 1);
 - le *picking station* hanno dimensioni maggiori, sia perchè al loro interno sono sempre presenti più UdC multiarticolo in fase di allestimento, sia perchè l'operatore necessita di un certo spazio per distribuire tra le varie UdC-cliente il materiale prelevato.
- I *remote OPS* presentano un punto di forza rilevante rispetto agli *end-of-aisle OPS* (sia con 2 *pick position/aisle* sia con configurazione *horse-shoe*): le UdC richieste da uno stesso ordine possono essere prelevate da più corridoi dell'AS-RS, anziché da un solo corridoio. Ciò comporta principalmente due vantaggi:
 - in caso di guasto di un traslogelevatore (per gli AS-RS), tutte le *picking station* possono continuare a processare ordini poiché le UdC da esse richieste possono essere prelevate da altri corridoi (eventualmente si verifica una piccola riduzione del throughput del sistema);
 - è possibile gestire un numero elevato di articoli, mentre nei sistemi *end-of-aisle* tale numero non può superare la potenzialità ricettiva del singolo corridoio.

La principale criticità dei *remote OPS* è rappresentata dall'alimentazione delle *picking station*: se, infatti, queste ultime non sono sufficientemente alimentate, cioè il tasso di arrivo delle UdC nell'area di *picking* non è sufficientemente elevato, i picker rimangono in stato di inattività per una certa percentuale di tempo e quindi il throughput del sistema risulta inferiore rispetto a quello massimo ottenibile. Per evitare tale fenomeno, è necessario effettuare un corretto dimensionamento integrato dei tre sottosistemi in fase di progettazione.

- *Carosello orizzontale* (Figura 2.9): si tratta di un dispositivo meccanico costituito da una serie di blocchi di ripiani paralleli che ruotano attorno ad un asse perpendicolare al pavimento: tale rotazione è determinata dall'azione di una catena motorizzata che unisce i blocchi di ripiani in un loop. Sui ripiani sono appoggiati contenitori di dimensioni 400x600 mm ca. all'interno dei quali risiede il quantitativo di uno o più articoli. Il materiale viene prelevato manualmente dal picker che occupa una posizione fissa di fronte al carosello. Il picker digita di volta in volta su una tastiera la postazione da cui effettuare il prelievo oppure, se il carosello è dotato di un software di controllo, la lista delle postazioni di prelievo può essere inserita nel sistema in modo tale che il carosello ruoti automaticamente. Dopo l'inserimento di una richiesta di prelievo, il carosello ruota finché il blocco di ripiani contenente l'articolo da prelevare non si trova di fronte al picker: a quel punto un fascio di luce illumina il contenitore da cui l'operatore deve prelevare il materiale. In alcuni casi viene utilizzato, in sostituzione del fascio di luce, un display elettronico di forma rettangolare alto quanto il carosello che indica, in corrispondenza del ripiano contenente l'articolo richiesto, esattamente la postazione e la quantità di prelievo: tutto ciò, chiaramente, contribuisce ad incrementare la produttività e l'accuratezza delle operazioni di prelievo e immissione effettuate dal picker.

Se l'operatore è assegnato ad un solo carosello, egli è necessariamente caratterizzato da una certa percentuale di insaturazione: rimane, infatti, in stato di inattività ogni volta che il carosello effettua una rotazione (eventualmente può sfruttare quel buffer temporale per impacchettare la merce, etichettarla, suddividerla per clienti ecc...). Se, invece, il picker deve servire due o più caroselli, egli può effettuare l'operazione di prelievo da un carosello, mentre gli altri sono in rotazione.

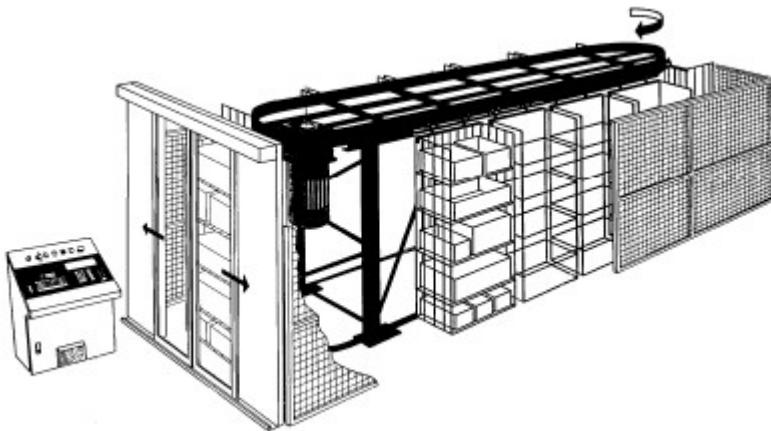


Figura 2.9: Carosello orizzontale

L'altezza e la lunghezza del carosello dipendono sia dalla spazio fisicamente disponibile sia dal throughput richiesto. In relazione a quest'ultimo fattore, bisogna tenere presente che:

- maggiore è la lunghezza del carosello, maggiore è il tempo medio di rotazione necessario a portare la postazione di prelievo di fronte all'operatore e, quindi, il risultato è una riduzione del throughput.
- maggiore è l'altezza del carosello, maggiore è il tempo medio impiegato dal picker per prelevare il materiale e, quindi, anche in questo caso il risultato è una riduzione del throughput. Inoltre, un'altezza superiore ai 180 cm richiede l'utilizzo di scale o addirittura di bracci robotizzati per accedere agli articoli collocati ai ripiani più alti.

I caroselli orizzontali non offrono soltanto una velocità di *picking* medio-alta, ma anche un'elevata densità di stoccaggio: l'unica porzione di spazio non sfruttata, infatti, è quella che separa i blocchi dei ripiani l'uno dall'altro.

Un importante svantaggio dei caroselli orizzontali è, invece, rappresentato dalla scarsa protezione e sicurezza dei prodotti: essi, infatti, si trovano all'interno di contenitori aperti e quest'ultimi, a loro volta, sono appoggiati su ripiani non protetti.

- *Carosello verticale* (Figura 2.10): si tratta di un dispositivo meccanico caratterizzato da un funzionamento analogo a quello del carosello orizzontale, ma anziché svilupparsi in orizzontale, si sviluppa soprattutto in verticale e l'asse di rotazione dei blocchi di ripiani è orizzontale (figura 8). L'altezza di tale sistema è vincolata sia dallo spazio fisicamente disponibile sia dal throughput richiesto: più precisamente, all'aumentare dell'altezza del carosello, aumenta il tempo medio di rotazione e, di conseguenza, si riduce il throughput del sistema.

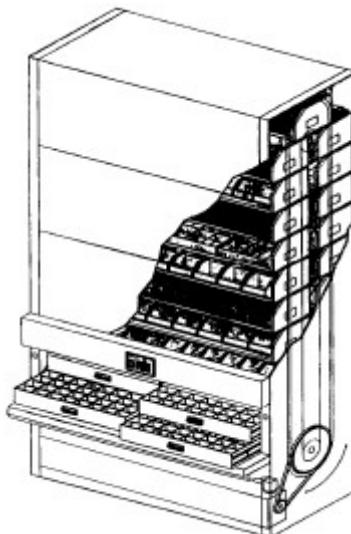


Figura 2.10: Carosello verticale

Punti di forza rispetto ai caroselli orizzontali:

- il tempo mediamente impiegato dall'operatore per prelevare il materiale dai contenitori è minore poiché il ripiano contenente l'articolo richiesto viene sempre portato all'altezza della vita del picker (quindi l'operatore non deve effettuare movimenti particolari);
- l'accuratezza di prelievo è maggiore, per lo stesso motivo indicato al punto 1;
- i prodotti sono maggiormente protetti e, quindi, sicuri poiché il carosello verticale è solitamente racchiuso da pareti metalliche di protezione: un solo ripiano alla volta si trova all'esterno di tali pareti.

Punti di debolezza rispetto ai caroselli orizzontali:

- la velocità di rotazione è minore poiché la direzione di rotazione è contraria alla forza di gravità;
- il costo di investimento è maggiore: ciò è attribuibile sia alla presenza delle pareti metalliche che racchiudono il carosello sia alla maggiore potenza motrice necessaria per la rotazione in direzione opposta alla forza di gravità.
- *Rotary rack*: si tratta di una particolare tipologia di carosello orizzontale in cui ciascun livello di ripiani è in grado di ruotare in maniera indipendente dagli altri e contemporaneamente ad essi. In questo modo c'è sempre almeno un livello che ha terminato la rotazione e, quindi, anche nei casi in cui l'operatore è assegnato ad un solo carosello, la

sua saturazione è molto elevata. Bisogna tenere presente, però, che il costo di tali sistemi è decisamente superiore rispetto a quello dei normali caroselli orizzontali e verticali.

- AVSS (Automated Vertical Storing System): si tratta di un dispositivo meccanico sviluppato soprattutto in altezza come il carosello verticale, ma il suo meccanismo di funzionamento è diverso. L'AVSS, infatti, è costituito da due blocchi di ripiani paralleli separati da un sistema di presa automatizzato che funge da ascensore (Figura 2.11). Come nei caroselli, gli articoli risiedono in contenitori di dimensioni 400x600 mm ca. appoggiati sui ripiani.

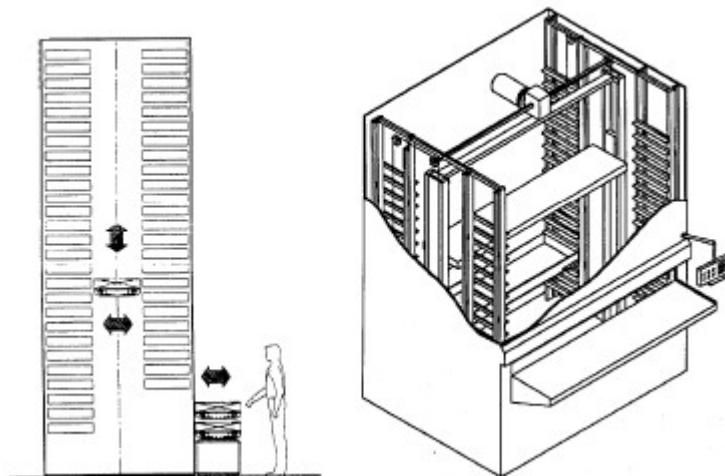


Figura 2.11: AVSS

Il picker digita di volta in volta su una tastiera l'articolo da prelevare oppure, se l'AVSS è dotato di un software di controllo, la lista degli articoli da prelevare può essere inserita direttamente nel sistema in modo tale che esso agisca automaticamente. In ogni caso, dopo aver ricevuto una richiesta di prelievo, l'ascensore raggiunge il ripiano contenente l'articolo richiesto, lo preleva e lo porta alla postazione del picker: qui l'operatore preleva da uno o più contenitori disposti sul ripiano il materiale necessario, dopodiché l'ascensore riporta il ripiano alla sua postazione dedicata. A differenza del carosello, quindi, nell'AVSS non viene messo in movimento l'intero sistema quando bisogna effettuare un'operazione di prelievo. Il picker occupa una posizione fissa di fronte all'AVSS: infatti il ripiano prelevato di volta in volta dall'ascensore viene collocato su un banco di lavoro fisso, alto 1 metro o poco più da terra. Nella maggior parte dei casi il banco di lavoro è predisposto per l'alloggiamento di due ripiani, anziché di un solo ripiano: ciò consente di incrementare la saturazione del picker perché, mentre quest'ultimo preleva il materiale da un ripiano, l'ascensore può effettuare un ciclo combinato, cioè riportare il ripiano precedentemente processato dal picker nella sua postazione dedicata e poi prelevare dalla scaffalatura un nuovo ripiano.

Come i caroselli verticali, anche l'AVSS è racchiuso da pareti metalliche e, quindi, garantisce una buona protezione degli articoli.

2.3 Miniload

I magazzini automatici Miniload (Figura 2.12), concepiti in base al principio "Parts-to-picker", sono nati per soddisfare l'esigenza dello stoccaggio e della movimentazione di minuteria.

Il magazzino è costituito da una o più corsie, all'interno delle quali si muovono i traslo elevatori. Su entrambi i lati sono presenti le scaffalature per immagazzinare contenitori o vassoi o scatole.

I contenitori possono essere di materiali e dimensioni diverse, purché garantiscano la rigidità e la stabilità del carico.

Nella maggior parte dei casi ad ogni corridoio viene dedicato un traslo elevatore, ma non è da escludere il caso in cui il numero di traslo elevatori sia minore del numero di corridoi e, quindi, il singolo traslo elevatore debba servire più corridoi: in tal caso, per consentire il passaggio dei traslo elevatori da un corridoio all'altro, è necessario installare un sistema di scambi su rotaie o un opportuno ponte di trasbordo.



Figura 2.12: Magazzino automatico miniload AS-RS

Le macchine per la movimentazione automatica vengono attrezzate, a seconda della necessità, con unità per l'estrazione, il prelievo e il sollevamento automatici. Ciascuna macchina può essere equipaggiata con più unità di questo tipo, in modo da aumentarne l'efficienza e ottimizzare i costi d'esercizio. Questa tipologia di magazzino come descritto nel paragrafo precedente è particolarmente indicata per la risoluzione di problematiche relative al *picking* in asservimento a linee di montaggio o al reparto di spedizione; un ulteriore applicazione si riferisce all'archiviazione/consultazione di documenti per enti pubblici e banche.

Tutti gli articoli presenti nel magazzino miniload vengono gestiti tramite sistemi informatici, prelevati automaticamente dalle scaffalature ed inviati alle postazioni di allestimento ordini tramite un sistema automatico di movimentazione. L'ubicazione di tutti i materiali collocati nel magazzino è memorizzata da un software che controlla e gestisce l'allocazione della merce e rende disponibile un inventario in tempo reale.

Questi magazzini vengono progettati secondo tolleranze molto rigide, per questo motivo richiedono la massima precisione al momento della realizzazione. Vengono progettati per lo stoccaggio a una o più posizioni, in sistemi a ripiani o a canali di scorrimento.

Principali caratteristiche:

- Sfruttamento ottimale dello spazio, grazie all'alta densità di stoccaggio;
- Elevata accessibilità ai carichi;
- Aumento della produttività rispetto a una gestione tradizionale;
- Totale sicurezza durante i processi di movimentazione dei carichi, dal momento che non vi è bisogno della presenza di operatori all'interno della zona di stoccaggio;
- Protezione del prodotto;
- Struttura portante in materiali leggeri (alluminio)
- Affidabilità e semplicità di utilizzazione;
- Ridotti costi di manutenzione;
- Motori e azionamento a risparmio energetico;
- Particolarmente indicato per aziende con elevato numero di ordini da evadere;
- Applicabile alla maggior parte dei settori: farmaceutico, laboratori e cosmetica, amministrazione pubblica, automobilistico, utensileria, elettrodomestici, telefonia e comunicazione;
- Riduzione del tempo di preparazione degli ordini;
- Ritorno rapido dell'investimento;
- Rispetto ambientale;
- Minore specializzazione del personale.

2.3.1 Organi di presa

Negli ultimi anni le continue innovazioni e l'inserimento di nuove tecnologie ha permesso di sviluppare traslo elevatori con performance sempre più elevate sotto tutti i punti di vista. L'obiettivo di questo sviluppo è la diminuzione del tempo ciclo, per questo le macchine sono diventate sempre più veloci e rapide grazie a motori più piccoli e potenti, diminuendo pesi e ingombri delle strutture portanti.

All'interno di questa area di sviluppo sono state inserite delle grandi novità anche per quanto riguarda i meccanismi di presa dei traslo elevatori, ovvero gli organi attraverso i quali viene effettuato il carico e lo scarico delle UdC dalla scaffalatura. Inizialmente le forche telescopiche costituivano la grande maggioranza delle soluzioni per i traslo elevatori, negli ultimi anni soprattutto per quanto riguarda colli, vassoi e cartoni sono apparse sul mercato diverse soluzioni innovative.

È possibile installare vari tipi di sistemi di estrazione secondo la tipologia delle UdC che vengono stoccate nel Miniload.

Possiamo classificare gli organi di presa in due grandi gruppi:

- Estrattori per contenitore singolo
- Estrattori per due contenitori in simultanea

Estrattori singolo contenitore

- Estrattore a forca telescopica: la forca telescopica è composta da due corpi che scorrono su guide e cuscinetti a lunga durata.
L'azionamento si effettua mediante ingranaggi e catene di trascinamento. La grande resistenza alla torsione degli accoppiamenti garantisce uno spostamento uniforme limitando la freccia e con un elevato carico all'estremità.



Figura 2.13: Organi di presa con braccetti telescopici (Dematic)

Esistono più tipi di forche in funzione del percorso:

- Forca telescopica singola profondità (Figura 2.13): Consente di depositare o estrarre UdC in scaffalature a singola profondità.
- Forca telescopica doppia profondità: Permette di depositare o estrarre un UdC in scaffalature a doppia profondità, potendo lavorare indifferentemente in singola o doppia profondità (Figura 2.14).



Figura 2.14: Organo di presa con braccetti telescopici a doppia profondità (TGW Twister)

- Estrattore a forza con cingolo motorizzato (Figura 2.15): Dispositivo costituito da una piattaforma telescopica e da un sistema di cingoli che prelevano il carico trascinandolo allo stesso tempo. Consta di due motorizzazioni dedicate all'azionamento di ciascuno dei due sistemi di cingoli (azionamento telescopico; azionamento di trascinamento). Si tratta di un azionamento rapido e dinamico che serve per lavorare su entrambi i lati della scaffalatura a singola profondità.
- Estrattore a ventose: Sistema provvisto di ventose montate su un braccio telescopico elettrico. Le ventose generano il vuoto su un lato della cassa di cartone, afferrandola saldamente tanto per l'estrazione quanto per il carico. Al tempo stesso, le pinze laterali abbracciano la cassa senza esercitare pressioni, per evitare che essa si muova lateralmente, accompagnandola verso la culla sul trasloelevatore.
Il dispositivo telescopico con ventose va installato su una piattaforma girevole, che permette di effettuare l'estrazione su entrambi i lati della corsia e anche su un terzo lato frontale in caso di necessità.
Questo sistema realizza lo stoccaggio di casse di differenti dimensioni, in doppia profondità.

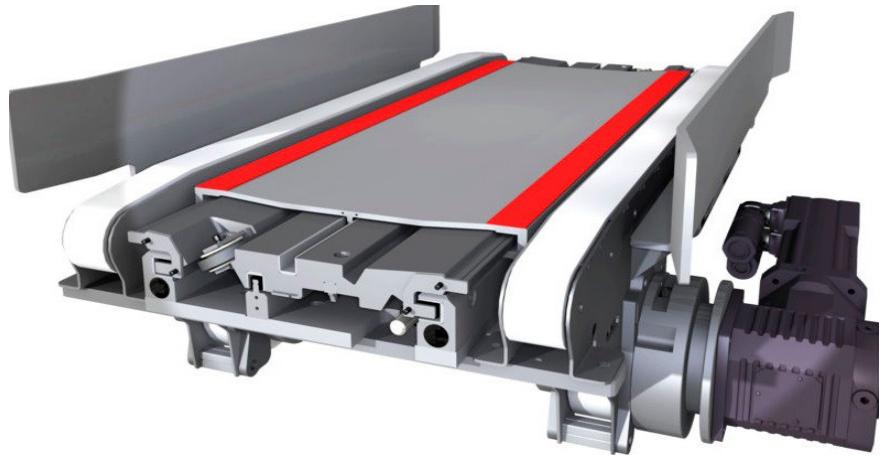


Figura 2.15: Organo di presa a forza con cingolo robotizzato
(TGW Combi-Telescope)

- Estrattore di tipo “cantilever” o sistema a pettine: l’organo di presa è costituito da un pettine, i denti del quale passano tra la struttura della scaffalatura sollevando l’UdC da sotto e consentendo di caricarla a bordo del trasloelevatore.

Estrattori doppi

- Estrattore a forza combinata (Figura 2.16): formato da due elementi estrattori che conferiscono una elevata velocità al processo di estrazione e introduzione di due o addirittura quattro contenitori simultaneamente.

Questo tipo di estrattore dispone di una piattaforma telescopica nel centro di un trasportatore a cingolo. La velocità dei cingoli si sincronizza con il movimento del contenitore in fase di carico e scarico. I cingoli posizionati a 2 mm al di sopra della piattaforma telescopica permettono di spostare i contenitori da un lato all’altro delle scaffalature e in profondità nel vano, senza necessità di muovere la piattaforma. Inoltre, i cingoli consentono un’elevata velocità di carico e scarico dei due contenitori in modo continuo nella testata. Ciò rende il sistema altamente flessibile e incrementa la velocità dei processi.

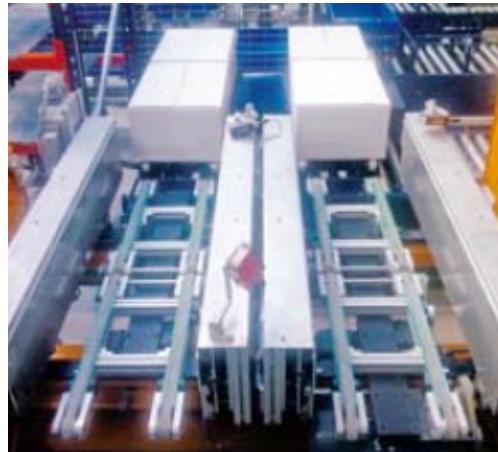


Figura 2.16: Organo di presa con due estrattori in grado di movimentare quattro scatole contemporaneamente

- Estrattore a pinze laterali e denti ripiegabili: è un sistema che rende possibile movimentare due contenitori di cartone in modo simultaneo tanto sulle scaffalature quanto in testata. È costituito da un sistema di piattaforme verticali telescopiche nelle quali sono alloggiate alcune biellette inclinabili. Quando le biellette si trovano in posizione orizzontale, afferrano le casse (una o due unità) per estrarre o spingerle. Questo movimento è simultaneo alla rotazione dei cingoli di gomma che formulano la base del sistema di estrazione. Questi due trasportatori indipendenti sincronizzano il proprio movimento con le piattaforme verticali. Essendo autonome, consentono il movimento del contenitore a bordo della macchina per cambiargli di lato o fondo scaffalatura.

Il grande vantaggio di questo elemento di estrazione consta della capacità di gestire casse di cartone direttamente sulla scaffalatura.

Come opzione, il dispositivo può montare un sistema di adattamento per differenti dimensioni di casse, questo lo rende molto versatile nelle installazioni in cui è richiesta la movimentazione di contenitori di cartone di differenti dimensioni.

2.3.2 Unità di Carico

I magazzini automatici per scatole sono progettati per stoccare diversi tipi di Unità di Carico (UdC). Le UdC più comuni sono le seguenti:

- *Eurobox (400 mm × 600 mm)*

È l'UdC di più comune uso, l'altezza della scatola dipende dai prodotti che sono contenuti in essa e dal volume delle celle che dovranno ospitarla all'interno della scaffalatura.

La scatola può avere un fondo normale o rinforzato a seconda dei prodotti che dovrà contenere e dal tipo di organo di presa che andrà a movimentarla.

In alcuni viene utilizzato un coperchio per proteggere particolari tipo di merce, è possibile inoltre che all'interno delle scatole vengano adottati dei divisorì per stoccare all'interno di un'unica UdC diversi tipi di prodotti.

- *Eurobox (600 mm × 800 mm)*

Sono utilizzati per lo stoccaggio di prodotti di dimensioni medie e hanno una capacità di carico di 100 kg.

Anche in questo caso, come nel precedente sono disponibili diversi modelli con altezze differenti.

- *Scatole di cartone*

Le scatole di cartone di medie dimensioni possono essere stoccate all'interno delle celle del magazzino automatico senza ricorrere all'uso di *Eurobox* in plastica o vassoi, solo nel caso in cui non debbano rientrare nuovamente nel magazzino, in quel caso è necessario utilizzare una scatola di supporto.

Le dimensioni di queste scatole in cartone sono quasi sempre molto simili a quelle in plastica, le caratteristiche di rigidità e deformazione del cartone sono però molto differenti, per questo motivo questo tipo di UdC viene sottoposta a specifici trattamenti.

- *Vassoi in plastica o in metallo*

I vassoi sono utilizzati per stoccare all'interno di un magazzino automatico scatole e oggetti di diverse dimensioni, sono progettate in accordo tra produttore e cliente per soddisfare al meglio le esigenze dimensionali dei prodotti che dovranno ospitare.

Possono essere costruite sia in materiale plastico come gli *Eurobox* sia con leghe metalliche leggere.

2.3.3 Caratteristiche tecniche

Di seguito verranno elencate le caratteristiche tecniche di alcune soluzioni fornite dalle principali aziende che sviluppano questo tipo di macchine (Tabella 3).

	Rapid Store Dematic	Incas	Cheetah Gebhardat	Tornado Swisslog	System Logistics
Altezza massima	n.d	18 m	12 m	24 m	22 m
Carico massimo ammesso	n.d	100 kg	120 kg	120 kg	650 kg
Velocità massima traslazione	6 m/s	6 m/s	6.5 m/s	6 m/s	5.5 m/s
Velocità massima elevazione	n.d	3 m/s	3.5 m/s	3 m/s	n.d
Accelerazione massima traslazione	5.5 m/s ²	4 m/s ²	6.5 m/s ²	4 m/s ²	n.d
Accelerazione massima elevazione	n.d	3 m/s ²	3.5 m/s ²	3 m/s ²	n.d
Profondità	quadrupla	doppia	doppia	quadrupla	n.d
Dimensioni massime del carico	da 200 a 650 mm	n.d	n.d	n.d	n.d

Tabella 3: Caratteristiche tecniche di alcuni Miniload

Effettuando un confronto tra i dati presenti nella tabella soprastante risulta evidente come le caratteristiche delle macchine siano abbastanza allineate soprattutto per quanto riguarda i termini cinematici.

Le aziende per guadagnare competitività sul mercato sono costrette a sviluppare macchine innovative con caratteristiche particolare crete ad hoc secondo le esigenze dei clienti, risulta necessario specializzare la produzione sviluppando una particolare caratteristica a discapito di altre alle quali si decide di attribuire minore peso specifico.

Anche questa situazione appare evidente nei dati precedentemente elencati, le soluzioni che consentono lo stoccaggio intensivo sviluppando il magazzino in verticale (Tornado - Swisslog) o che possiedono capacità di carico particolarmente elevate rispetto agli standard (System Logistics) non hanno le stesse prestazioni cinematiche in termini di velocità e accelerazione dei sistemi prodotti dalle aziende concorrenti.

2.4 Pregi e difetti di un magazzino automatico

I magazzini automatici nel mondo della logistica, da sempre, sono soluzioni molto efficaci ma altrettanto poco flessibili.

È conveniente, infatti, investire in un magazzino automatico unicamente quando l'azienda supera una certa soglia di volumi movimentati.

Oggi i magazzini automatici sono più flessibili rispetto al passato, con l'innovazione è sempre più possibile adattare la macchina alle esigenze del cliente, è aumentata l'offerta delle attrezzature prendicarico e delle attrezzature in generale.

Parlando del concetto di flessibilità in senso lato, possiamo dire che la stessa aumenta avendo a disposizione un maggior numero di attrezzature e di modelli che rispondono a molte più esigenze.

Se affrontiamo poi la circostanza del calo dei costi di un magazzino automatico, notiamo la possibilità di applicare automazione anche in aziende più piccole.

Inoltre anche i software hanno aiutato molto i magazzini che sono divenuti molto meno rigidi di una volta, e possono adattare regimi organizzativi più complessi.

Un'azienda per fare sì che l'investimento in un magazzino automatico abbia un ritorno congruo, e in tempi accettabili deve avere dei requisiti specifici, i parametri principali per definire questo aspetto riguardano per prima cosa i turni di lavoro, e quindi il massimo delle macchine, di conseguenza flussi con parametri costanti come le ore di lavoro.

Un altro importante parametro è definito dall'altezza a disposizione all'interno del magazzino stesso, perché è possibile arrivare ad altezze a cui l'automazione manuale non può arrivare. ottimizzazione degli spazi, dei tempi e delle risorse quindi migliore operatività.

La concorrenza sempre più agguerrita sugli odierni mercati globalizzati rende la logistica aziendale interna un fattore di successo decisivo per l'azienda stessa, dal momento che essa rappresenta l'interfaccia tra l'impresa e i mercati ed è in grado di influire direttamente sul servizio clienti, una delle caratteristiche più importanti.

Le ottimizzazioni in questo settore sono indispensabili per incrementare l'efficienza e abbassare i costi sul mercato.

Soluzioni di logistica intelligenti per accelerare notevolmente i flussi di merce, aumentare la disponibilità al momento giusto e al tempo stesso contenere i costi.

3 Sistemi automatici di stoccaggio innovativi

In questo capitolo si intende effettuare una descrizione generale del funzionamento dei sistemi automatici innovativi per la movimentazione della merce all'interno di un centro distributivo.

Questo lavoro sarà utile al fine di formulare una panoramica che permetta di conoscere in modo più approfondito il mercato di queste soluzioni automatizzate.

La prima parte del capitolo si occuperà dei sistemi per la movimentazione dei pallet, nella seconda parte invece verranno illustrati sistemi per la movimentazione di contenitori e colli.

Per ogni sistema sono state raccolte tutte le informazioni disponibili in modo tale da poter analizzare e confrontare le prestazioni cinematiche e i dati tecnici delle diverse soluzioni.

È necessario dividere il mercato di questi sistemi in due, da una parte le soluzioni per pallet, dall'altra le soluzioni per colli, vassoi, scatole e tutti i carichi di piccole dimensioni.

3.1 Le soluzioni per pallet

Il mondo pallet dal punto di vista dell'innovazione presenta meno novità rispetto al mondo dei contenitori, questo accade perché l'utilizzo di UdC di piccole dimensioni è sempre più comodo e si adatta meglio alle richieste del mercato attuale. Le aziende che sviluppano questo tipo di soluzioni logistiche si stanno concentrando maggiormente sul mondo miniload, ciononostante alcuni sistemi per pallet già descritti in letteratura sono stati ottimizzati e alcuni altri sono nati dalle sempre maggiori esigenze di automazione.

I sistemi per pallet che verranno descritti in questa tesi sono i seguenti:

- Sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti (Shuttle-Based)
- Sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e trasoelevatori (Crane-Based)
- Sistemi automatizzati di stoccaggio con veicoli (Vehicle-Based)

Questi sistemi trovano applicazione sia all'interno degli impianti di produzione, sia nei centri distributivi, soprattutto nei seguenti settori:

- Industrie alimentari;
- Industrie chimiche
- Industrie farmaceutiche;
- Vendita al dettaglio;
- E-commerce.

3.1.1 Sistemi automatizzati stoccaggio con satelliti (Shuttle - Based)

Il sistema Shuttle-Based è modulare, versatile e completamente automatico, consente di combinare diverse tecniche per lo stoccaggio automatico in multiprofondità di pallet; la macchina scorre su binari, alimentato da blindosbarre, opera ad ogni livello di carico della scaffalatura, perpendicolare al fronte dei canali di stoccaggio, ed è in grado di ospitare a bordo uno *shuttle*.

Questo shuttle è una macchina in grado di muoversi autonomamente all'interno di un canale di sistema drive-in sia con logica FIFO (*First In First Out*) che con logica LIFO (*Last In First Out*).

A garanzia di uno stoccaggio automatico ad alta densità, può operare in tutti i canali della installazione prelevando, depositando e riordinando i pallet nei canali di stoccaggio (Figura 3.1).

La macchina detta *move* sposta lo shuttle nei diversi canali di stoccaggio per il prelievo/deposito dei pallets in automatico, con una grande flessibilità e velocità nei prelievi, il tutto gestito da un software che controlla il movimento e le precedenze di ciascuna macchina all'interno della scaffalatura calcolando i percorsi più rapidi per le operazioni di carico e scarico ottimizzando così i tempi ciclo del sistema.

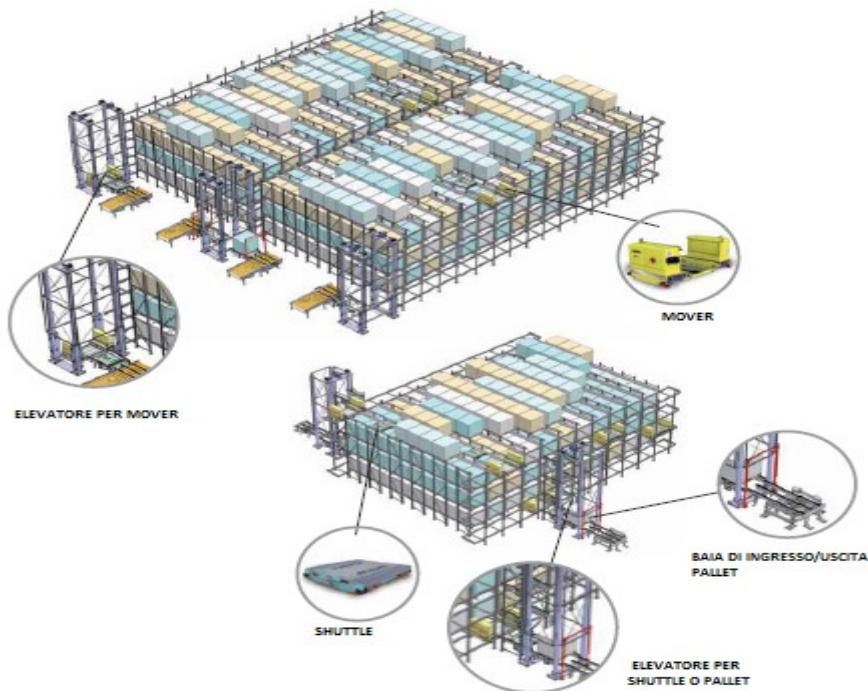


Figura 3.1: Esempio di configurazione di un impianto

Il software coordina anche il lavoro degli elevatori/discensori che possono essere uno o più e hanno la funzione di portare i pallet ai vari livelli di stoccaggio.

A seconda delle esigenze del magazzino il sistema può presentare diversi tipi di configurazione, è sufficiente variare il numero delle macchine e degli elevatori per ottenere caratteristiche differenti, modificando alcuni parametri del sistema è possibile passare da una soluzione con elevata densità di stoccaggio e una bassa selettività delle unità di carico a situazioni diametralmente opposte dove ho elevata accessibilità e bassa densità di stoccaggio (Figura 3.2)

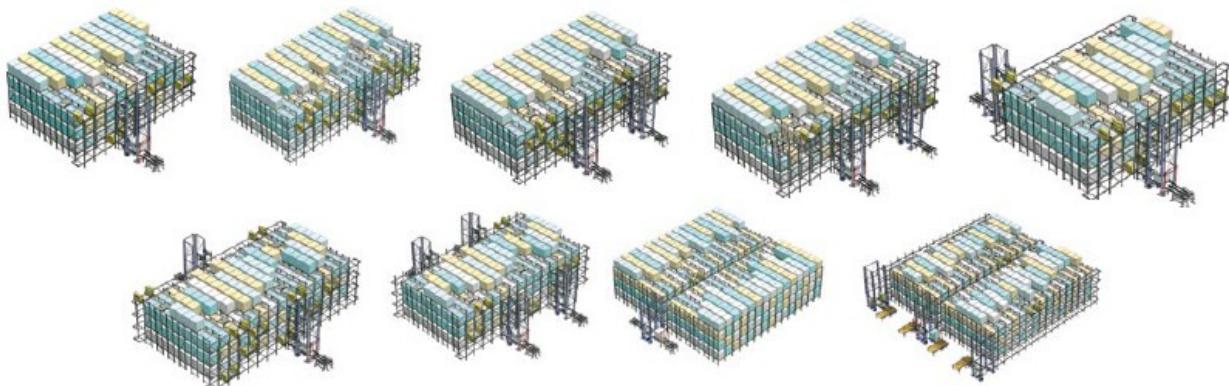


Figura 3.2: Esempi di configurazioni di impianto per un sistema shuttle-based

Questo sistema risulta adatto in particolari situazioni ad esempio in industrie con un numero contenuto di articoli (codici) da gestire e con la necessità di un numero elevato di movimentazioni oppure quando si ha l'esigenza di realizzare all'interno dei loro edifici industriali impianti automatizzati altamente flessibili, sfruttando al massimo le volumetrie.

Il principale fornitore di soluzioni di questo tipo è l'azienda Authoma che ha sviluppato il sistema Autosatmover (Figura 3.3).

La particolarità di questo sistema risulta essere lo shuttle trasportato a bordo del mover, Autosat-Supercap non prevede l'installazione di nessuna batteria a bordo, nessuna necessità di operazioni manuali per la ricarica, nessun tempo fermo per operazioni di ricarica, infatti lo shuttle ricava l'energia da un supercondensatore alimentato direttamente durante gli spostamenti a bordo di Autosatmover.

• **Authoma - Autosatmover**

Caratteristiche tecniche

Autosatmover

- Alimentazione da blindosbarre;
- Software di gestione: AWM di Automha;
- Velocità max: 2 m/s.

Supercap

- Alimentazione tramite super-condensatore direttamente a bordo di Autosatmover;
- Tempo di ricarica a pieno regime in 7 secondi;
- Nessuna batteria a bordo;
- Potenzialità di movimentazione di un singolo satellite di 30-35 cicli combinati/h;
- Trasmissione delle informazioni tramite tecnologia wi-fi;
- Velocità di regime a vuoto: 1,05 m/s;
- Velocità di regime a carico: 0,5 m/s;
- Accelerazione/decelerazione: 0,7 m/s²;
- Tempo di presa dell'Udc: 4 s



Figura 3.3: Autosatmover con shuttle Supercap

3.1.2 Sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e trasloelevatori (Crane - Based)

Il sistema Crane-Based funziona con lo stesso principio del precedente Shuttle-Based ma a differenza di quest'ultimo vi è una macchina che gestisce entrambi i movimenti x e y (Figura 3.4), muovendosi contemporaneamente nelle due direzioni esattamente come un tradizionale trasloelevatore. Gli elevatori e i mover sono quindi sostituiti da questo trasloelevatore sul quale è installato uno shuttle che si muove in direzione z per depositare i pallet alla profondità richiesta. Questa soluzione consente maggiore velocità nel depositare o prelevare le UdC mantenendo un'elevata densità di stoccaggio.

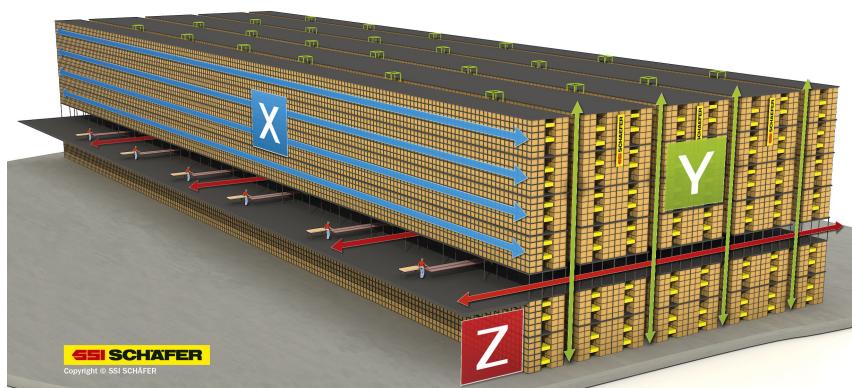


Figura 3.4: Configurazione del sistema di stoccaggio Lift&Run

La principale azienda fornitrice di questa soluzione è SSI-Schafer (Figura 3.5), leader mondiale nel mondo del material handling, che propone ai propri clienti il sistema chiamato Lift&Run.

La particolarità del sistema è l'elevato grado di scalabilità di questa soluzione , infatti il traslo opera su altezze ridotte servendo un numero di livelli limitato, dando la possibilità di sovrapporre più moduli con il vantaggio di aumentare di molto la potenzialità di movimentazione.

Con questo tipo di configurazione il sistema necessita ovviamente di elevatori che trasportino i pallet ai moduli sovrastanti.

Lo shuttle integrato è il sistema Schafer Orbiter System che funziona esattamente come una normale navicella per lo stoccaggio intensivo con la particolare caratteristica di poter essere utilizzato anche in ambienti a basse temperature.



Figura 3.5: Sistema Lift&Run di
SSI Schafer

Caratteristiche tecniche

- **SSI Schafer - Lift&Run**

- Velocità del traslo eletto lungo x: 4 m/s;
- Accelerazione del traslo eletto lungo x:
 - 0.8 m/s² a livello zero;
 - 0.5 m/s² al livello più alto.

• TGW - Muli

- Velocità del traslooelevatore lungo x: 3.5m/s;
- Massima profondità canali: 20 m;
- Carico massimo: 1200kg;
- Velocità del satellite: 1,5 m/s.

3.1.3 Sistemi automatizzati di stoccaggio con veicoli (Vehicle – based)

Il sistema Vehicle-Based più comunemente denominato AVS/RS (Autonomous Vehicle Storage and Retrieval System); l'AVS-RS è una tecnologia di movimentazione dei materiali impiegata nell'ambito dei magazzini automatizzati: l'area di stoccaggio è suddivisa in un certo numero di corridoi, ciascuno dei quali costituito da due scaffalature parallele identiche in cui alloggiano le UdC (come nei tradizionali AS-RS) (Figura 3.6). All'interno di ciascun corridoio e in corrispondenza di ciascun livello della scaffalatura è montato un sistema di rotaie (che copre l'intera lunghezza del corridoio) 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.

Di questo sistema se ne è già ampiamente parlato in letteratura, a differenza dei due precedentemente descritti una soluzione di questo tipo garantisce una densità di stoccaggio minore e una maggiore accessibilità alla merce, ogni veicolo può avere accesso a tutti i vani della scaffalatura che dovrà essere strutturata con singola profondità.

Vantaggi

- Flessibilità

In fase di progettazione a seconda 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 traslo elevatori e miniload.

Questo tipo di soluzione è stata implementata da Savoye Logistics che ha introdotto sul mercato il Veicolo Magmatic (Figura 3.7).

• **Savoye Logistics - Magmatic**

Caratteristiche tecniche

- Velocità lift: 1.5 m/s
- Velocità veicolo: 2.5 m/s



Figura 3.7: Veicolo Magmatic sull'elevatore

3.2 Sistemi per contenitori

Unità di carico di piccole dimensioni come scatole, vassoi e cartoni rappresentano il presente e il futuro prossimo dei sistemi per lo stoccaggio della merce, i magazzini automatici che utilizzano sistemi innovativi come la tecnologia AVS/RS sono ancora poco diffusi, ma le aziende distributrici di logistica stanno sviluppando i loro sistemi e le loro macchine per proporre ai clienti soluzioni a costi accessibili in grado di soddisfare le numerose esigenze di mercato.

I sistemi per contenitori che verranno descritti in questa tesi sono i seguenti:

- Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori ad alta movimentazione
- Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori non ad alta movimentazione
- Sistemi automatizzati di stoccaggio con 3D robot
- Sistemi automatizzati con scaffali mobili

3.2.1 Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori ad alta movimentazione

I sistemi automatici per contenitori con veicoli ad alta movimentazione consentono lo stoccaggio e il prelievo di contenitori in plastica, scatole, vassoi e cartoni, inoltre consentono di integrare al meglio le zone di stoccaggio della merce con le postazioni di *picking* riducendo di molto i tempi di allestimento ordini.

L'efficienza dell'operazione di *picking* con l'adozione di queste soluzioni aumenta in maniera esponenziale raggiungendo valori elevati e riducendo i costi complessivi delle operazioni.

Un sistema di stoccaggio e prelievo molto rapido rende possibile ordinare e raggruppare gli ordini come richiesto dalla spedizione molto più velocemente, più accuratamente e in modo più flessibile rispetto ad una soluzione manuale. Inoltre, può lavorare anche durante la notte se necessario, con prestazioni ottimizzate.

La caratteristica fondamentale di questi sistemi è il completo disaccoppiamento del trasporto orizzontale e verticale delle unità di carico.

Gli shuttle nella configurazione *tier captive* sono assegnati ad uno specifico livello, nella configurazione *tier to tier* invece questi ultimi si possono muovere tra i vari livelli attraverso l'uso di un elevatore.

In termini di layout, il sistema consente di evitare la progettazione di un corridoio di collegamento ad ogni livello della scaffalatura e quindi in termini di tecnologia, di non dover disporre di veicoli sterzanti (poiché questi non devono spostarsi all'interno del livello) (Figura 3.8).

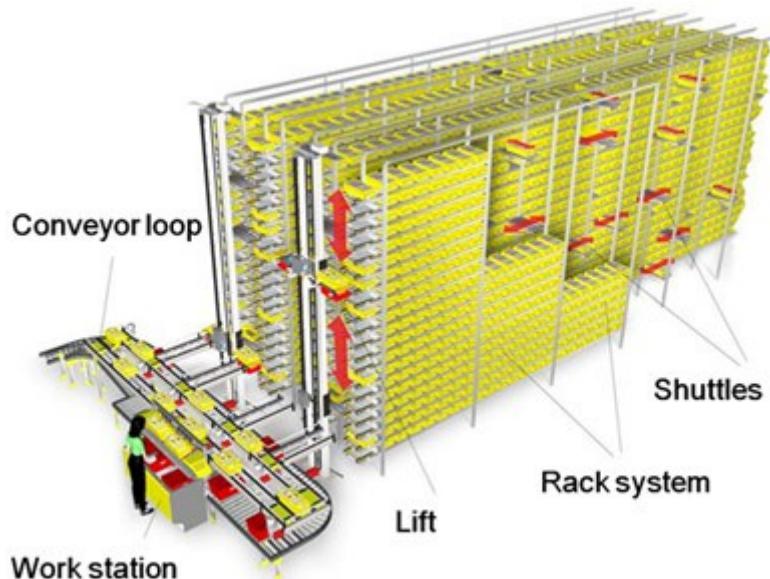


Figura 3.8: Configurazione di impianto di un sistema OSR

Le performance di questo sistema sono molto elevate e consentono di soddisfare tutte le esigenze di un sistema di stoccaggio per oggetti di medio/piccole dimensioni che richiedono tempi di allestimento ordini brevi (tipico è il settore farmaceutico), alta capacità di stoccaggio e alta potenzialità di movimentazione.

Il consumo energetico di questi sistemi è molto minore rispetto ai tradizionali miniload poiché il peso degli shuttle è di molto inferiore rispetto all'intera struttura di un traslogevatore.

Il costo di installazione di un magazzino con questo sistema di movimentazione colli è maggiore rispetto ad un normale sistema di stoccaggio servito da tradizionali trasloelavatori.

Allo stesso tempo questa soluzione garantisce il vantaggio di poter comodamente costruire il sistema su misura per rispondere perfettamente alle esigenze iniziali e consentire altresì di ampliare la configurazione in maniera molto semplice minimizzando le eventuali interferenze con le attività in corso. Nel caso in cui fosse invece necessario aumentare la capacità di stoccaggio è sufficiente aggiungere una nuova scaffalatura senza nessun altro macchinario. Il vantaggio evidente è quello di poter usufruire di un sistema automatico ad alta efficienza e redditività con un investimento iniziale ridotto.

L'alta modularità e flessibilità di configurazione consente inoltre di adeguarsi a qualsiasi processo di prelievo ed ambiente di lavoro.

Questi sistemi si prestano in maniera perfetta alla gestione dei processi di formazione ordini dove sia necessario eseguire un elevato sequenziamento degli ordini e dove si voglia spingere al massimo l'efficienza dell'operatore nel processo di *picking*, implementando postazioni di lavoro del tipo merce-all'uomo offrendo la massima rapidità di accesso alle merci stoccate.

In sintesi soluzioni di questo tipo offrono i seguenti vantaggi:

- Potenzialità di movimentazione maggiore rispetto al classico trasloelavatore per miniload.
- Più alto coefficiente di utilizzazione volumetrica, in quanto non richiede spazio per il posizionamento della rotaia.
- Possibilità di evitare il risequenziamento in baia, impostando il prelievo secondo la sequenza desiderata, utilizzando il sistema come buffer di spedizione e/o sequenziatore: in particolare, i veicoli prelevano in un qualsiasi ordine i vassoi per evadere un batch di ordini e la sequenza viene costruita dagli elevatori.
- Possibilità di effettuare le attività di manutenzione o sostituzione dei veicoli senza arrestare il sistema.

• **Knapp - OSR System**

L'azienda austriaca Knapp è tra i maggiori fornitori mondiali di soluzioni logistiche complete e di sistemi automatizzati per lo stoccaggio della merce.

Sviluppo, Progettazione, installazione e assistenza post vendita di sistemi intralogistici su misura sono le principali attività del gruppo.

Knapp ha installato oltre 1.500 impianti nei cinque continenti, servendo clienti nei settori più svariati. Il sistema OSR (*Order Storage & Retrieval system*) (Figura 3.9) è uno dei primi ad apparire sul mercato.



Figura 3.9: OSR System di Knapp

L'elevatore effettua missioni complete; su un lato i contenitori da stoccare, sull'altro trasporta i contenitori da prelevare.

La merce in attesa di essere movimentata dall'elevatore attende in una postazione che ha la funzione di buffer, queste zone ai lati dell'elevatore sono presenti ad ogni livello ed hanno la funzione di disaccoppiare il movimento verticale e quello orizzontale , in particolare i veicoli possono scaricare i contenitori in uscita senza aspettare l'arrivo dell'elevatore e, analogamente, gli elevatori possono scaricare i contenitori in ingresso senza aspettare l'arrivo del veicolo.

Caratteristiche tecniche

Elevatore

- Potenzialità di movimentazione: 600 doppi cicli/h;
- Velocità a regime : 5 m/s;
- Accelerazione/Decelerazione : 7 m/s².

Veicoli

- Velocità a regime : 1,5 m/s;
- Accelerazione/Decelerazione : 1 m/s².

Valori di costo indicativi

- Scaffalature e relativa impiantistica: 25 – 26 euro/pallet;
- Elevatore: 30000 – 40000 euro/dispositivo;
- Veicolo: 10000 – 15000 euro/veicolo;
- Software che gestisce il magazzino (WCS, Warehouse Control System): da 36000 euro.

• Vanderlande Industries

Adapto

Le soluzioni che Vanderlande propone, basate sul sistema di stoccaggio a veicoli Adapto (Figura 3.10), risultano particolarmente interessanti soprattutto nell'ambito industriale italiano.

In particolare il sistema Adapto di Vanderlande è costituito da shuttle particolarmente leggeri, che non sono più confinati ad un singolo corridoio ma possono muoversi liberamente sul piano orizzontale e cambiare livello attraverso degli elevatori posti in testata. Ogni shuttle può raggiungere qualsiasi locazione nella scaffalatura. Il ciclo di funzionamento tipico prevede che una volta effettuata l'operazione di stoccaggio e la successiva operazione di prelievo (ciclo doppio), lo shuttle Adapto si dirige verso il fronte della scaffalatura dove l'elevatore provvede a trasportarlo, assieme al suo carico, al livello dove si trova la testata del magazzino per la distribuzione del contenitore alla stazione di *picking*. Gli shuttle ricavano l'energia da una batteria posta a bordo. Quando lo shuttle si trova sull'elevatore, la batteria viene automaticamente ricaricata. Dato che lo shuttle viene trasportato (assieme al suo carico) dall'elevatore, esso può poi essere posizionato ad un livello differente rispetto a quello di provenienza in funzione delle effettive necessità di stoccaggio e prelievo. In questo modo si ottiene una notevole flessibilità di configurazione: si può infatti tarare la capacità dinamica del sistema in funzione delle esigenze del momento inserendo il numero necessario di shuttle indipendentemente dalla capacità statica.



Figura 3.10: Shuttle Adapto caricato sull'elevatore

Quickstore HDS

I veicoli del sistema Quickstore HDS (Figura 3.11) si muovono all'interno del corridoio non solo in direzione orizzontale ma anche in quella verticale, infatti ogni navetta serve generalmente più livelli fino ad un massimo di 5.

La navetta si sposta tra un livello e l'altro autonomamente senza utilizzare l'elevatore (configurazione *tier to tier*) eliminando così il problema del trasporto della navetta sull'elevatore.

Questo tipo di configurazione implica un minor numero di navette necessarie e conseguente diminuzione dei costi di investimento.

Caratteristiche tecniche

Elevatore

- Potenzialità di movimentazione:
 - 600-700 cicli/h con uno elevatore per corridoio e una corsa pari a 6-12 m;
 - 1000 cicli/h con due elevatori per corridoio e una corsa pari a 12 m (a causa del coordinamento che si rende necessario tra i due elevatori, il numero di cicli/h è inferiore al doppio dei cicli/h che si hanno nel caso di un solo elevatore).
- Accelerazione/decelerazione: 3 m/s² ;
- Velocità a regime: 3 m/s.



Figura 3.11: Quickstore HDS

Navetta

Il dispositivo di presa dei cassetti è costituito da prese “flipper”: due cinghiette si posizionano sotto al cassetto, che sporge rispetto al corrente, lo sollevano lievemente e lo caricano per attrito.

Prestazioni cinematiche:

- Alimentazione tramite blindosbarra dedicata;
- Velocità a regime: 4 m/s;
- Accelerazione/decelerazione: 1,2 m/s².

Si noti che nel calcolo del tempo ciclo del veicolo il movimento verticale è trascurabile poiché il movimento verticale e quello orizzontale avvengono simultaneamente e il tratto verticale risulta essere, in generale, sempre inferiore al tratto orizzontale.

Valori di costo indicativi

- Scaffalature e relativa impiantistica: 40 euro/cassetto;
- Elevatore: 60000 euro/dispositivo;
- Veicoli: 40000 euro/dispositivo.

Per quanto riguarda la progettazione di tali sistemi si tende a sviluppare la scaffalatura fino ad un'altezza di 12 m.

Le prestazioni del sistema vengono determinate dall'elevatore, in quanto rappresenta il collo di bottiglia.

Il numero di corridoi viene determinato rapportando la potenzialità di movimentazione richiesta a quella del singolo elevatore, il numero degli elevatori deve essere dunque adatto a soddisfare la potenzialità ricettiva richiesta.

• Dematic - Multishuttle 2

Dematic opera nel mercato da oltre cent'anni, attualmente impiega oltre 4.500 collaboratori e genera un volume di affari superiore a un miliardo di euro.

L'azienda possiede 5 centri di produzione situati in Germania, Italia, USA, Australia e Cina e 55 sedi sparse in tutto il mondo.

La tecnologia Multishuttle di Dematic (Figura 3.12) è fondamentalmente costituita da navette indipendenti in grado di muoversi lungo i corridoi della scaffalatura eseguendo, grazie ai dispositivi di presa telescopici posti a bordo, le azioni di prelievo/rilascio delle scatole o contenitori gestiti nell'impianto.

Rispetto ai sistemi ai sistemi descritti in precedenza questa soluzione presenta navette più leggere e veloci con una funzionalità potenziata, ossia la possibilità di gestire colli di formati diversi grazie ad un dispositivo di presa a dimensione variabile.

L'elemento più significativo di questi shuttle è la possibilità di movimentare con la stessa navicella cartoni di diverse dimensioni e qualsiasi tipo di imballaggio senza l'utilizzo di vassoi.

L'innovazione principale è dovuta appunto ai braccetti telescopici che possono raggiungere la doppia profondità da entrambi i lati della scaffalatura.

I braccetti di plastica e fibra di carbonio garantiscono robustezza e performance durature.



Figura 3.12: Configurazione impianto con Dematic Multishuttle 2

Caratteristiche tecniche

- Sistema di comunicazione: DPC (Dematic Powerrail Communication);
- Velocità shuttle: 4 m/s ;
- Accelerazione shuttle: 2 m/s²;
- Configurazioni:
 - Multishuttle Static: braccetti telescopici (dimensioni del carico costanti) ;
 - Multishuttle Belted: nastri trasportatori sul piano di carico ;
 - Multishuttle Flex: braccetti telescopici adattabili ad un range di dimensioni del carico.

- **Swisslog - Smart Carrier**

Progettato appositamente per carichi leggeri, Smartcarrier (Figura 3.13) è il sistema di stoccaggio e trasporto per contenitori e vassoi che permette un utilizzo efficiente dello spazio e un basso consumo energetico, particolarmente indicato anche come buffer di sequenziamento ad alta velocità.

Il satellite di trasporto, dotato di intelligenza a bordo, è stato studiato per ottenere un rapporto eccellente tra il peso dello shuttle e l'UdC movimentata.

La particolarità di questa soluzione è data dal fatto che è stato progettata per avere un basso consumo di energia e recuperarne il 60-70% in frenata, attraverso il sistema di alimentazione a super condensatori.



Figura 3.13: Shuttle Smart Carrier di Swisslog

Informazioni tecniche

Elevatore

- Altezza massima di 16 metri;
- Portata massima: 2 veicoli Smart Carrier;
- Velocità : 4 m/s;
- Accelerazione: 4 m/s²;
- Capacità di movimentazione singola: 120 - 200 cicli/ h;
- Capacità di movimentazione doppia: 300 - 500 cicli/ h.

Veicolo

- Capacità di carico: 35 kg;
- Velocità: 2 m/s;
- Accelerazione: 1 m/s²;
- Capacità stoccaggio: da 1500 – 5000 vassoi/corridoio.

• TGW - Stingray

La soluzione offerta da TGW è molto simile a quelle descritte in precedenza. La caratteristica di maggior rilievo del sistema Stingray è il fatto di essere realizzato ponendo una particolare attenzione all'efficienza energetica e alla riduzione dei consumi. È stata infatti progettata una versione intelligente e leggera che riduce sensibilmente i carichi in movimento.

La semplice manutenzione dei componenti è un'altra caratteristica importante di questa soluzione: attacchi rapidi permettono di smontarne il coperchio in pochi secondi. Questo rende agevole le attività da svolgere sull'intero shuttle. Una passerella disposta ai vari piani ogni 2,50 m permette l'accesso a tutti gli shuttle.

La configurazione più completa e più performante prevede l'equipaggiamento di uno satellite per ogni livello e di due elevatori per unità di carico in ogni corridoio. Ma anche prestazioni inferiori possono essere ottimizzate, lo shuttle infatti può cambiare livello utilizzando un proprio elevatore. In questo modo si utilizza un numero inferiore di shuttle limitando l'investimento iniziale.

Caratteristiche tecniche

- Velocità veicolo: 3 m/s;
- Capacità di carico: 40 kg.

• Daifuku - Duosys

L'azienda di Osaka (Giappone) ha sviluppato un sistema AS/RS ad alto rendimento super-veloce, chiamato Duosys (Figura 3.14), questa soluzione non è propriamente da classificare come AVS/RS poiché non ci sono veicoli autonomi che agiscono lungo un livello ma due miniload che possono funzionare contemporaneamente su un massimo di sei livelli nello stesso corridoio per massimizzare il throughput. I due minitraslo operano in modo completamente indipendente, passando l'uno sull'altro senza alcuna interferenza raggiungendo ogni posizione della scaffalatura senza intoppi. Le caratteristiche e le prestazioni di queste macchine sono quindi simili ai sistemi AVS/RS descritti in precedenza.

Duosys durante le operazioni di manutenzione di una singola macchina ha la possibilità di far funzionare l'altro miniload per evitare il fermo totale del sistema in quella navata. I traslo sono gestiti da un unico controller off-board per una maggiore affidabilità.

La modularità del prodotto rende il sistema scalabile a seconda delle esigenze.



Figura 3.14: Configurazione impianto Duosys Daifuku

Caratteristiche tecniche

Nella configurazione standard Duosys è composto da due moduli sovrapposti per un totale di 10/12 livelli, 2 minitraslo servono i primi 6 livelli altri 2 servono gli ultimi 6, in questo modo si movimentano contemporaneamente 4 UdC.

- Potenzialità massima nella configurazione standard: 2200 cicli/h;
- Velocità massima orizzontale: 5.8 m/s;
- Velocità massima verticale: 0.83 m/s;
- Tempo minimo di trasferimento del carico: 1,5 s.

• System Logistics - VLS

Il VLS (Vertical Lift Sequencer) è un dispositivo per lo stoccaggio temporaneo, caratterizzato da un ingombro minimo grazie al design a sviluppo verticale.

Utilizza la tecnologia di sollevamento "beam", un carrello scorre orizzontalmente su una trave di sollevamento che si muove tra due verticalmente su scaffalature bifronti servendo i diversi livelli di stoccaggio (Figura 3.15).



Figura 3.15: Tecnologia di sollevamento a trave del VLS

Questo sistema si avvale inoltre della combinazione di un estrattore inferiore e di uno stoccaggio di tipo "cantilever" (sistema di estrazione a pettine) per poter movimentare numerose tipologie di cassette, scatoloni e altri carichi disponibili in unità.

Viene implementato in gruppi o "blocchi", così da soddisfare le esigenze di velocità e capacità di stoccaggio.

Ogni blocco VLS viene gestito da un sistema di trasporto automatizzato (Figura 3.16).

Caratteristiche generali

- Precisione nella creazione di sequenze per le operazioni automatizzate di creazione pallet misti;
- Gestione degli squilibri temporanei fra prelievo e spedizione;
- Gestione degli squilibri fra i processi produttivi;
- Rifornimento automatico delle rulliere finalizzato al *picking* manuale dei colli.



Figura 3.16: VLS di System Logistics

3.2.1.1 Caratteristiche cinematiche

In questo paragrafo, saranno riportate nella tabella sottostante le caratteristiche cinematiche dei sistemi automatici a veicoli descritti in questo paragrafo, allo scopo di riassumere e confrontare più facilmente i dati dei diversi fornitori raccolti durante la ricerca.

Questa tabella sarà utile per effettuare un analisi di dettaglio al fine di individuare il sistema che presenta le specifiche prestazionali più elevate (Tabella 4).

	Knapp OSR	Vanderlande Quickstore HDS	Dematic Multishuttle 2	Swisslog Smart Carrier	TGW Stingray	Daifuku Duosys
Velocità max orizzontale	1.5 m/s	4 m/s	4 m/s	2 m/s	3 m/s	5.8 m/s
Velocità max verticale	5 m/s	3 m/s	n.d	4 m/s	n.d	0.8 m/s
Accelerazione orizzontale	1 m/s	1,2 m/s	2 m/s	1 m/s	n.d	n.d
Accelerazione verticale	7 m/s	3 m/s	n.d	4 m/s	n.d	n.d

Tabella 4: Caratteristiche tecniche dei sistemi automatizzati con veicoli ad alta movimentazione

Osservando i dati è necessario notare come il sistema offerto dall'azienda giapponese Daifuku sia particolarmente rapido nell'effettuare gli spostamenti orizzontali ma molto lento in quelli verticali, questa soluzione opera infatti su un numero limitato di livelli al fine di sfruttare al massimo le caratteristiche del sistema.

Al contrario il sistema OSR di Knapp è stato progettato per ottenere la massima efficienza in direzione verticale, la soluzione dell'azienda austriaca ha una configurazione di tipo *tier captive*, l'elevatore deve quindi essere il più rapido possibile a muoversi tra i vari livelli, riducendo i tempi di attesa e ottimizzando l'efficienza delle navette che operano in direzione orizzontale su un unico livello.

Risulta ancora differente la situazione offerta da Van der Lande, in questo caso infatti nel sistema Quickstore HDS si nota un grande bilanciamento tra le caratteristiche prestazionali nelle due direzioni principali. La tecnologia del sistema è impostata in modo da non privilegiare gli spostamenti in una direzione specifica ma da ottenere un rapporto equilibrato tra le due.

3.2.2 Sistemi automatizzati con veicoli per contenitori non ad alta movimentazione

Questo tipo di soluzione è l'equivalente dei sistemi AVS/RS descritti precedentemente (paragrafo 3.1.3), unisce un sistema di trasporto autonomo con la logistica dei contenitori dei magazzini miniload.

Il sistema shuttle Ylog è particolarmente adatto ad applicazioni vicine alla produzione o a centri di assemblaggio, ad esempio come buffer o per il rifornimento completamente automatico di postazioni di lavoro. La flessibilità di utilizzo lo rende adattabile anche per l'impiego in centri logistici. Il sistema di scaffali si adegua con facilità alle strutture preesistenti, mentre la sua scalabilità consente l'integrazione rapida ed agevole di shuttle e scaffali a seconda delle esigenze dell'azienda e del mercato.

I veicoli automatici detti AiV (Autonomous Intelligent Vehicle) che si muovono all'interno della scaffalatura senza limitazioni di livello e si riconoscono a vicenda, rispettano le regole di precedenza e i sensi unici, svolgendo così i loro compiti in maniera completamente autonoma, ovvero senza alcun intervento o coordinazione da parte di un computer centrale.

Questi shuttle montano ruote orientabili adatte sia per la logistica di magazzino che per quella di trasporto, sono in grado di compiere semplici missioni e individuare il percorso più idoneo tra gli scaffali.

Il numero dei veicoli AiV così come il numero di Lift è variabile ed è definito in fase di progettazione a seconda della potenzialità richiesta dall'impianto.

• **Ylog (Knapp Group)**

Il fornitore che per primo ha sviluppato questo tipo di soluzione e ha portato sul mercato questi sistemi è l'azienda Ylog, che si presenta come impresa indipendente in cooperazione con Knapp AG. Ylog Industry Solutions punta su soluzioni di sistema scalabili per medie imprese. Sviluppo e produzione vengono effettuati nella sede centrale in Austria.

I veicoli di Ylog (Figura 3.17) sono in grado di ricaricarsi autonomamente durante il funzionamento poiché sono alimentati al posto delle tradizionali batterie da “supercondensatori”, come nel caso di Autosat Supercap (descritto in questo capitolo della tesi nel par 1.1)

Ogni shuttle conta complessivamente nove motori, di cui 4 servono per fare curvare i veicoli robotizzati.



Figura 3.17: Shuttle AiV di YLog

Caratteristiche tecniche

- Peso: 50 kg;
- Potenza del singolo robot: 100 W (1/200 di un traslocelevatore per miniload).

3.2.3 Sistemi automatizzati di stoccaggio con “3D robot”

Una delle ultime soluzioni apparse sul mercato logistico è rappresentata dall'innovativo sistema per lo stoccaggio e il *picking* che ha la caratteristica fondamentale di sfruttare l'utilizzo di piccoli robot in grado di gestire e muoversi all'interno di un centro di distribuzione in tutte le direzioni sia orizzontalmente che verticalmente (Figura 3.18).

Ciò che caratterizza in modo particolare questa soluzione automatica è il fatto che permetta di recuperare lo spazio occupato dalle aree dedicate alle corsie e all'handling.

Questo sistema, ottimizzato per i carichi leggeri, è basato su una griglia modulare sulla quale si spostano robot in tutte le direzioni per accedere e servire ogni stazione di *picking*.

La soluzione in analisi è caratterizzata da elevata modularità e flessibilità: si adatta facilmente agli spazi di edifici già esistenti poiché non richiede grandi altezze, può inglobare colonne e pilastri e, in base all'evolversi delle esigenze, può aumentare la produttività inserendo nuovi robot e mantenendo inalterata la superficie occupata. La merce viene conservata in contenitori sovrapposti che vengono gestiti da robot, i quali a loro volta sono in grado di accedere ad ogni postazione e servire ciascuna stazione di *picking*.

Attraverso un elevatore, i robot agganciano i contenitori richiesti e li posizionano in cima alla griglia sovrapponendoli ad altri, in questo modo si ottiene una densità di stoccaggio molto elevata a discapito di una bassa selettività, i contenitori sottostanti infatti non sono direttamente accessibili dai robot.

La massima affidabilità e scalabilità di funzionamento sono garantite dal funzionamento indipendentemente dei robot.



Figura 3.18: Robot indipendenti 3D di Swisslog - Autostore

Con una soluzione tecnologica e automatizzata come questa, gli operatori inseriscono semplicemente i contenitori nel cubo di magazzinaggio tramite una o più stazioni riceventi; i robot portano i pezzi agli addetti al prelievo per la selezione dell'evasione d'ordine e quindi riposizionano qualunque materiale rimanente di nuovo a magazzino. Questo processo fa risparmiare tempo, aumenta la produttività ed elimina migliaia di chilometri di strada per gli addetti al prelievo in un normale centro di smistamento ordini.

La soluzione automatica con robot 3D è stata sviluppata e progettata dall'azienda Swisslog e viene chiamata Autostore (Figura 3.19) .



Figura 3.19: Configurazione impianto di Swisslog - Autostore

- **Swisslog - Autostore**

Caratteristiche tecniche

- Altezza massima della griglia: 5.4 m;
- Capacità di carico: 30 kg;
- Velocità robot: 3 m/s;
- Velocità robot lifts: 1.6 m/s;
- Accelerazione robot: 0.8 m/s;
- Prelevi ora: 50 per ciascun robot;
- Capacità di stoccaggio (di un sistema standard): 5 000 - 100 000 contenitori;
- Dimensioni dei contenitori: 601 mm x 401 mm x 200 mm/310 mm (a x b x h).

3.2.4 Sistemi automatizzati con scaffalature di picking mobili

L'ultima soluzione dedicata soprattutto all'E-Commerce è rappresentata dai sistemi automatizzati con scaffalature mobili ed utilizza una tecnologia di automazione per centri di distribuzione che aiuta le aziende a semplificare le operazioni e ridurre i costi aumentando la flessibilità strategica utilizzando robot autonomi e un software di controllo sofisticato.

I prodotti invece di essere stoccati in statiche scaffalature vengono immagazzinati in scaffali mobili, questi ultimi vengono movimentati da una flotta di veicoli automatici che recuperano gli scaffali necessari e li portano agli addetti posizionati nelle stazioni di *picking* lungo il perimetro, che prelevano l'elemento richiesto e lo mettono nel contenitore ordine.

Grazie al software che gestisce la dimensione dell'imballaggio e il numero/posizione degli articoli da prelevare, il sistema permette di comporre facilmente un ordine corrispondente all'acquisto effettuato on line da un utente.

Il sistema di evasione degli ordini permette tempi ciclo molto rapidi e con meno manodopera al ricevimento, alla raccolta, alla spedizione.

Ideato per rispondere alle esigenze degli acquisti on line, come la rapidità di consegna, la facilità dei resi e la multicanalità, questa nuova soluzione consente una modalità di prelievo veloce ed elevata scalabilità, grazie all'aumento di nuovi scaffali mobili, regolabili in base alle dimensioni dei prodotti. Un ulteriore importante caratteristica di questi sistemi è il fatto che sia implementabile anche in magazzini dove la mobilità è un fattore importante o dove è prevista un'ampia gamma di prodotti di diversi formati.

Inoltre, sfruttando la più veloce tecnologia robotica, i sistemi d'inventario dati e una rinnovata strategia di utilizzazione dello spazio di magazzino, queste soluzioni sono in grado di migliorare le condizioni degli operatori che lavorano nel settore e-commerce, risparmiando tempo ed energia e migliorando l'ambiente di lavoro anche nei periodi di picchi degli ordini.

Le caratteristiche più importanti di questi sistemi sono:

- Rapida installazione: l'installazione può richiedere un minimo di un paio di settimane.
 - Espansione modulare: in caso di improvvisa crescita del mercato o di elevati flussi momentanei è sufficiente aumentare il numero di robot e/o di scaffalature.
 - Prelievo e stoccaggio simultaneo: il prelievo e lo stoccaggio dei prodotti possono procedere allo stesso tempo.
 - La flessibilità del prodotto: scaffali di stoccaggio e postazioni di lavoro possono essere configurati per gestire piccoli oggetti, oggetti di grandi dimensioni, scatole e cartoni, casse pieni, merci fragili, imballaggi di forma strana, e molti prodotti che non possono essere gestiti da un tradizionale AS / RS .
-
- **Kiva System**

Kiva System fondata azienda produttrice di robot specializzati nel trasporto merci dal 2012 è stata acquistata dall' impresa di commercio elettronico Amazon, leader del commercio online.

La soluzione Kiva è la prima di questo genere ad apparire sul mercato e a differenza delle aziende concorrenti offre al cliente diversi tipi di robot in grado in movimentare sia contenitori che cartoni ma anche pallet (Figura 3.20).

In generale la saturazione superficiale per questo tipo di soluzione è molto bassa, nelle aree geografiche in cui non si hanno particolari vincoli di spazio e costruire od affittare centri di distribuzione risulta relativamente poco costoso, i clienti di solito scelgono di distribuire la soluzione Kiva su un unico livello.

Tuttavia, la soluzione non è limitata ad operare al piano terra infatti Kiva system è in grado di operare anche su magazzini a più piani, alcuni clienti fanno uso dello spazio verticale utilizzando soppalchi e piattaforme.

Il movimento dei robot è infatti integrato con ascensori verticali che permettono al veicolo di spostarsi da un livello all'altro.



Figura 3.20: Robot del sistema Kiva

- **Swisslog - Carry pick**

Caratteristiche tecniche

- Dimensioni scaffalatura mobile: 1 300 mm x 900 mm x 2 170 mm;
- Tipi di scaffalature: cartoni / pezzi singoli / rientri;
- Capacità di carico max.: 600 kg;
- Stazioni di lavoro: tipicamente 16 - 50 ;
- Potenzialità di *picking* di una stazione: 480 colli/h;
- Capacità min. magazzino: 3 000 colli;
- Area necessaria per 1000 scaffalature mobili: 3000 m²;
- Altezza min. capannone: 3 m.



Figura 3.21: Sistema Carry Pick di Swisslog

4 Classificazione dei sistemi automatici

La competitività sul mercato di un'azienda in qualsiasi settore essa operi è determinata dalla propria capacità di adattare i propri prodotti e le proprie strutture alle variabili esigenze del mercato.

Pertanto, a lungo termine, la capacità di sopravvivenza di un'azienda viene misurata grazie al livello di competitività, all'andamento delle vendite, all'indice di produttività e alla situazione del bilancio economico.

In particolare per una azienda risultano fondamentali i termini efficienza ed efficacia, all'interno dei quali sono racchiusi i principali indici di gestione e di verifica della situazione aziendale (Figura 4.1).

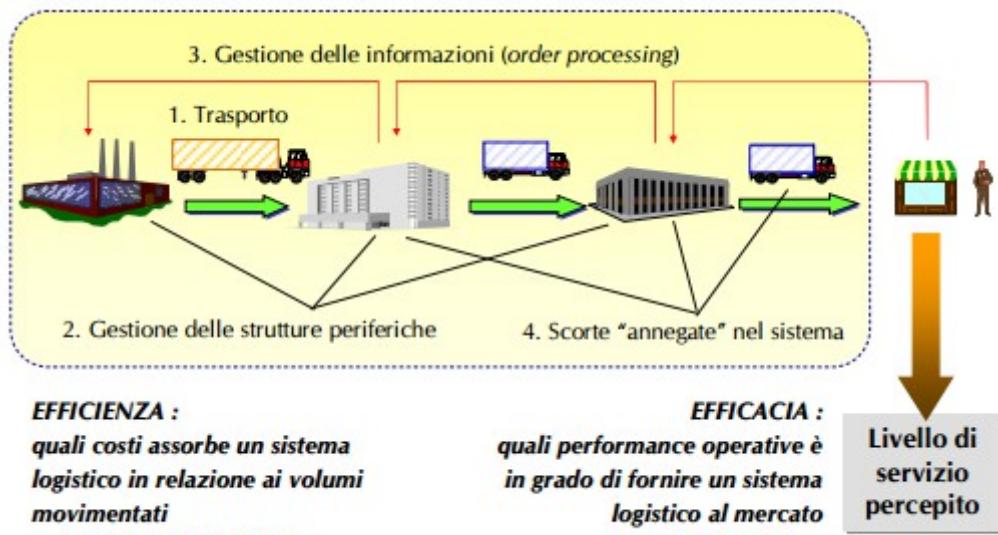


Figura 4.1: Prestazioni di un sistema logistico

L'efficienza nell'impiego dei fattori e nello svolgimento dei processi produttivi riflette il rapporto fra la produzione ottenuta ed i mezzi utilizzati per il suo allestimento.

L'efficacia esprime la capacità della gestione aziendale di conseguire obiettivi programmati, prescindendo dalla valutazione delle risorse impiegate allo scopo.

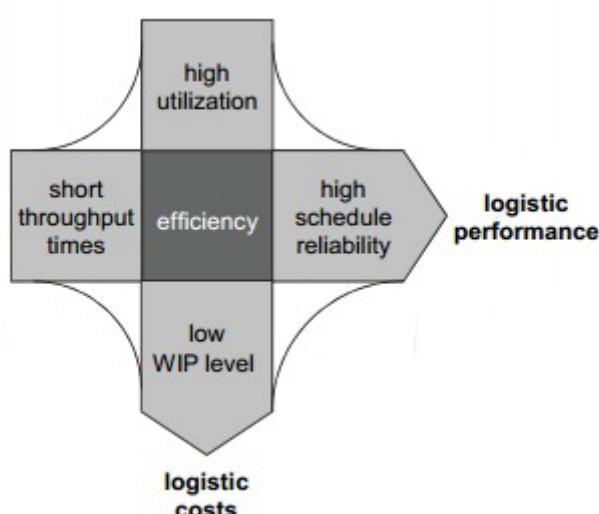


Figura 4.2: Obiettivi della logistica industriale

Al fine di ottenere una produzione industriale competitiva e che soddisfi le prerogative descritte sono necessarie elevate prestazioni logistiche con contemporanea minimizzazione dei relativi costi di gestione.

Buone prestazioni a livello logistico si ottengono grazie a tempi throughput bassi e ad un'elevata affidabilità nella programmazione del lavoro. Bassi livelli di WIP (Work In Progress) in produzione e il massimo sfruttamento delle risorse operative garantiscono la minimizzazione dei costi della logistica (Figura 4.2).

In questo capitolo varranno classificati tutti i sistemi automatici di stoccaggio descritti in questa tesi al fine di effettuare un confronto tra le soluzioni al momento disponibili sul mercato.

Nella parte iniziale sono descritti i termini di valutazione con i quali sarà effettuata nella seconda parte del capitolo la classificazione dei sistemi, anche in questo caso prima ci occuperemo del mondo pallet poi passeremo all'analisi dei sistemi per la movimentazioni di contenitori e scatole.

4.1 I principi base e i parametri di valutazione

I sistemi innovativi descritti nel capitolo precedente rappresentano il presente e il futuro del settore logistico nell'automazione dei sistemi di stoccaggio.

Tutte le aziende fornitrice di queste soluzioni per magazzini stanno sviluppando i loro modelli per offrire sul mercato macchine sempre più performanti.

In molti casi in fase di ricerca proprio per il motivo sopra indicato è risultato complesso ottenere informazioni precise per quanto riguarda le caratteristiche tecniche delle macchine.

I componenti delle macchine quali motori, sistemi di sollevamento e traslazione, organi di presa, sistemi di ingranaggi e cuscinetti sono costantemente oggetto di analisi da parte degli addetti alla ricerca e sviluppo. Piccoli cambiamenti di alcuni componenti di macchina potrebbero modificare sensibilmente le caratteristiche tecniche e cinematiche della macchina, l'aumento anche minimo delle prestazioni massime in termini di velocità di traslazione di un trasloelevatore porta alla riduzione del tempo ciclo. Anche se quantitativamente focalizzando l'attenzione su un solo ciclo di carico e scarico o su un ciclo doppio i benefici possono essere impercettibili, in un magazzino automatico, dove l'obiettivo principale è ottenere un throughput significativo della merce, il sistema di trasloelevatori effettua in un turno di lavoro un elevato numero di movimenti portando nel lungo periodo sensibili guadagni in termini di tempo.

L'operazione di classificazione dei sistemi innovativo non è semplice proprio per questi motivi, prima di indicare le variabili che prenderemo in considerazione per effettuare la classificazione occorre elencare i principi base della movimentazione della merce, principi secondo i quali si muovono tutti i sistemi di material handling.

Sulla base di ciò possiamo individuare gli indici e le caratteristiche che permettono di classificare i sistemi automatici e più in generale i magazzini nei quali saranno installati:

- *Indici di produttività*

Riguarda l'attività lavorativa del magazzino (volume di lavoro) rapportata all'unità di tempi predefinita (ora, turno, giorno, anno)

- N. UdC movimentate
 - In ingresso/in uscita;
 - In abbassamento (per rifornimento);
 - Di attraversamento (throughput);
- N. colli prelevati;
- N. righe d'ordine evase;
- N. ordini evasi;
- Kg / m³ prelevati;
- N. automezzi caricati/scaricati.

- *Indici di utilizzazione*

Riguardano la saturazione e l'occupazione del magazzino: sono utilizzati per valutare il livello di riempimento del magazzino e per imputare a ciascuna referenza l'utilizzazione dei volumi.

- N. posti pallet / m² area stoccaggio;
- Volume merci a stock / volume area stoccaggio;
- N. UdC direttamente accessibili / N. posti pallet;
- N. posti pallet occupati / N. posti pallet disponibili;
- Ore di utilizzo carrelli / ore lavorative complessive.

- *Indici di servizio*

Riguardano il controllo delle prestazioni di servizio erogate dal sistema “magazzino” e consentono il confronto con il livello di servizio atteso.

- Tempo medio di evasione ordini “standard”;
- Tempo medio di evasione ordini “urgenti”;
- Tempo medio di immissione nell'area di stoccaggio;
- Percentuale di errori commessi;
- Percentuale di righe evase per ordine;
- Percentuale di pezzi evasi per riga.

- *Indice di selettività*

Rappresentano il rapporto tra il numero di codici prelevabili direttamente e il numero totale di codici stoccati all'interno del magazzino. Questo coefficiente valuta l'accessibilità diretta alla merce e la possibilità di prelevare un determinato codice senza movimentare altre unità di carico che ne impediscono il prelievo.

- Numero codici prelevabili direttamente / numero codici totali.

- *Indici di costo*

Riguardano l'aspetto economico del sistema "magazzino", consentono di valutare l'onerosità delle principali operazioni di magazzino e di quantificare i costi di handling per referenza, per famiglia di prodotti, per cliente.

- Costo di immagazzinamento (euro / UdC anno);
- Costo per UdC movimentata (carico/scarico automezzo, messa a stock, ecc.);
- Costo per collo/pezzo prelevato;
- Costo per riga prelevata (ordini singoli, batch di ordini).

- *Indice di rotazione*

È il rapporto tra il numero di unità di carico intere prelevate nell'unità di tempo e la giacenza media del magazzino nell'unità di tempo. Questo indice esprime il numero di volte in cui le scorte di merci si rinnovano completamente nell'arco di tempo preso in esame. Il lasso di tempo considerato potrà essere l'anno, ma anche un periodo inferiore (un mese, un trimestre, un semestre, ecc..).

Un'elevata rotazione indica che le merci acquistate durante l'anno sono rimaste in magazzino per un breve periodo. Al contrario un magazzino con bassa rotazione è un segnale di un rallentamento delle vendite.

Il calcolo dell'indice di rotazione del magazzino è importante per comprendere qual è il tempo necessario affinché, i mezzi finanziari investiti nelle merci, vengano recuperati.

- *Modularità*

Un modulo può essere definito in molteplici modi, ma di solito si tratta di un componente di un più vasto sistema, che opera in quel sistema indipendentemente dalle operazioni di altri componenti.

Nel nostro caso un modulo rappresenta la porzione minima di magazzino in grado di svolgere tutti i compiti necessari e richiesti dall'utente per la funzioni che deve svolgere, è il magazzino avente la minima capacità di stoccaggio possibile.

È possibile, ad esempio, identificare come modulo un corridoio di profondità minima avente due scaffalature bifronti servito da una trasloelevatore.

I punti cardine della programmazione modulare sono:

- Suddivisione dell'area di stoccaggio in singoli moduli;
- Indipendenza dei moduli tra loro;
- Interazione minima di ciascun modulo con il mondo esterno;
- Facile verifica dei moduli come entità isolate;
- Dichiarazione esplicita e semplificazione delle interfacce mediante le quali i moduli comunicano tra loro.

Il principale vantaggio di un sistema modulare è in termini generali la capacità di "crescere" o "decrescere" (aumentare o diminuire di scala) in funzione delle necessità e delle disponibilità, la capacità di incrementare le proprie prestazioni (il proprio throughput) se a tale sistema vengono fornite nuove risorse.

- Quanto un determinato sistema sia modulare dipende dalla sua architettura software e/o architettura hardware.

Questa caratteristica dei sistemi copre un ruolo sempre più importante nell'economia delle aziende. La capacità di rispondere alle esigenze dei clienti in modo immediato, la possibilità di non investire subito grossi capitali, di muoversi secondo i cambiamenti del mercato e delle proprie necessità risulta essere fondamentale nell'economia moderna.

4.2 Le caratteristiche della classificazione

Come è facile notare dal paragrafo precedente, le caratteristiche elencate possono essere interpretate in modi differenti a seconda di ciò che si intende misurare.

Entrando nel dettaglio è necessario restringere questa vasta gamma di interpretazioni possibile per poter effettuare una classificazione che renda univoco il significato di ogni singolo indice o caratteristica del sistema.

Al fine di ottenere un aiuto visivo di più facile intuizione di seguito verranno descritte nel dettaglio le quattro caratteristiche che sono state valutate maggiormente significative ovvero *l'indice di selettività, l'indice di saturazione superficiale, la capacità di movimentazione e la flessibilità* e verranno inserite in un grafico, in questo modo risulterà più semplice per il lettore individuare pregi e difetti dei sistemi che sono stati oggetto di analisi in questa tesi.

- *Indice di selettività*

Come descritto in precedenza questo indice rappresenta il rapporto tra i singoli pallet/contenitori prelevabili direttamente e il numero totale di pallet/contenitori stoccati all'interno del magazzino. Questo coefficiente valuta l'accessibilità diretta alla merce e la possibilità di prelevare una determinata UdC senza movimentare altre unità di carico che ne impediscono il prelievo.

Nel nostro caso adotteremo una definizione leggermente differente che si adatta meglio al nostro obiettivo di lavoro, ovvero la classificazione delle soluzioni automatiche.

Per selettività intenderemo la capacità di ciascun veicolo di avere accesso ad un determinato numero di codici, otterremo quindi il livello massimo per l'indice di selettività nel caso in cui ogni veicolo abbia accesso ad ogni codice stoccati all'interno del magazzino, al contrario avremo bassa selettività quando ogni veicolo ha la possibilità di accesso ad un numero limitato di celle e quindi ad un numero limitato di codici prodotto.

- *Indice di Saturazione Superficiale*

Questa caratteristica di sistema fa parte della categoria di indici descritti in precedenza riguardante gli indici di utilizzazione del magazzino.

Anche in questo caso, vista la variabilità delle interpretazioni possibili di questo indice, è necessario chiarire la definizione che verrà utilizzata in questo studio di tesi.

Per saturazione superficiale intendiamo il numero di UdC per unità di superficie (ad esempio m²).

A numeratore non si tiene quindi conto dell'area occupata dalle scaffalature, dai corridoi e dalle strutture dei sistemi di stoccaggio.

- *Capacità di movimentazione*

È la capacità di qualsiasi sistema meccanico di trasportare un'unità di carico da un punto predefinito ad un altro indicato dal software di gestione in un'unità di tempo predefinita.

L'unità di misura per questo indice di prestazione del sistema è UdC/h, tiene quindi conto di quante unità di carico vengono movimentate all'interno del magazzino prendendo in considerazione sia quelle in entrata sia quelle in uscita.

- *Flessibilità*

L'elemento caratteristico a cui abbiamo dato un grande importanza, preferendolo nella classificazione dei sistemi alla più scontata modularità descritta precedentemente, è senza dubbio la flessibilità.

Qualora si decidesse, sia in ambito produttivo che logistico, di studiare e, successivamente, implementare soluzioni gestionali caratterizzate da un forte livello di automazione, l'analisi della flessibilità che tali soluzioni siano in grado di garantire nell'arco della loro intera vita utile riveste un ruolo prioritario all'interno di questo tipo di progetti. Questo perché flessibilità e automazione sono strettamente correlate, generalmente esse sono in contrapposizione l'una con l'altra: in particolare, in un sistema l'aumento dell'automazione è seguito da una perdita di flessibilità del sistema stesso che, dunque, risulta essere maggiormente vincolato e rigido a eventuali cambiamenti del contesto in cui ci si trova ad operare.

La flessibilità, come descritto in letteratura, è un concetto complesso, multidimensionale e di difficile misurazione.

Un importante classificazione delle diverse tipologie di flessibilità è stata proposta in Browne et al. (1984). Essa viene elaborata come passo propedeutico alla classificazione dei sistemi di produzione flessibili (*FMS – flexible manufacturing system*) e si declina come di seguito:

- flessibilità di macchina: è la facilità con cui vengono effettuati i cambiamenti per produrre un determinato set di parti;
- flessibilità di operazione: è la capacità di una parte di essere realizzata in differenti modi;
- flessibilità di processo: è l'abilità di produrre un determinato set di parti, ognuno possibilmente usando materiali differenti, in vari modi;
- flessibilità di prodotto: è la totalità di parti differenti che il sistema può produrre;
- flessibilità di sequenza: è la capacità di gestire i guasti e contestualmente continuare a produrre il dato set di parti;
- flessibilità di volume: è la capacità di un sistema di operare con profitto (in maniera redditiva) con vari livelli di output;
- flessibilità di produzione: è l'abilità di cambiare la produzione per realizzare un nuovo set di parti in maniera rapida ed economica;
- flessibilità di espansione: è la capacità di costruire un sistema in grado di aumentare facilmente e in maniera modulare la sua capacità quando necessario.

In questa classificazione definiremo la flessibilità come la capacità di adattare la capacità di movimentazione a seconda delle variazioni della capacità di movimentazione richiesta, ipotizzando di non effettuare variazioni alla configurazione di sistema e alla capacità ricettiva del magazzino, ovvero il numero di posti pallet/contenitori disponibili per lo stoccaggio della merce.

4.3 Classificazione delle soluzioni per pallet

Sui quattro semiassi di un piano cartesiano tradizionale in due dimensioni sono state inserite le quattro caratteristiche dei sistemi descritte in precedenza adottando per ogni semiasse una scala qualitativa di valutazione.

Per ogni sistema e per ogni caratteristica è stata attribuita una valutazione assegnando i valori bassi nel caso in cui la soluzione presa in analisi non sia in alcun modo caratterizzata da quella particolarità, al contrario le sarà attribuita la valutazione massima se la particolarità in questione caratterizza a tutti gli effetti la soluzione.

Il primo sistema per la movimentazione dei pallet preso in analisi è stata la soluzione Shuttle – Based.

Il sistema è caratterizzato da una buona flessibilità in quanto il numero di macchine è scalabile a seconda della potenzialità richiesta e da una capacità di movimentazione elevata grazie alla rapidità degli shuttle e al rapido trasporto di questi ultimi a bordo del mover.

Il disaccoppiamento dei movimenti lungo i tre assi favorisce la capacità di stoccaggio e il prelievo. L'indice di selettività è il punto critico per questo tipo di sistemi, infatti lo stoccaggio fortemente intensivo non permette agli shuttle di avere l'accesso diretto a tutti i pallet stoccati all'interno del magazzino (Figura 4.3).

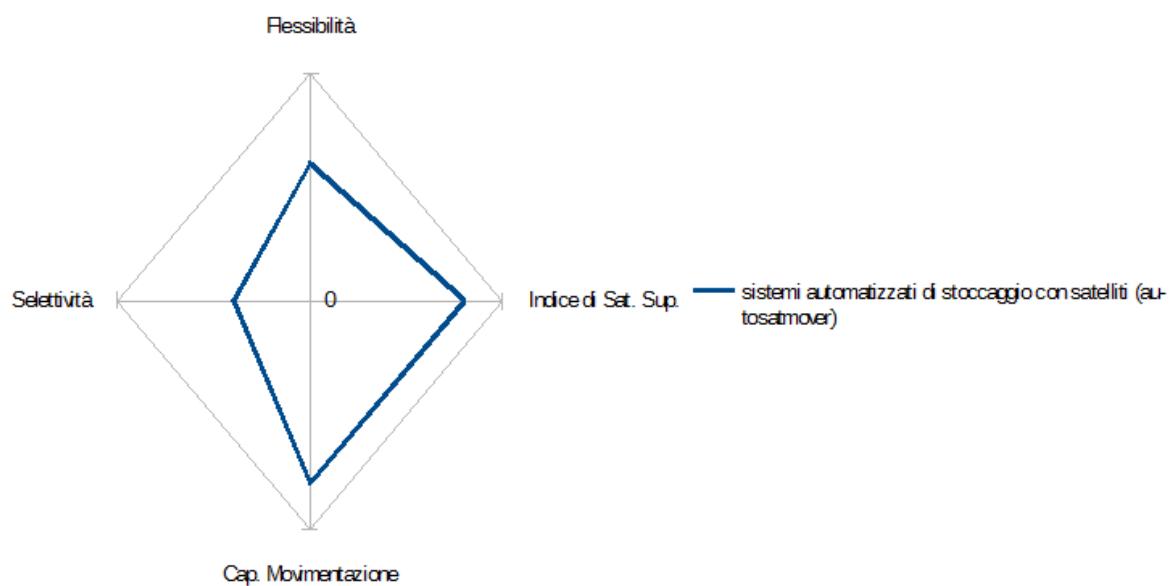


Figura 4.3: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti

I sistemi semi-automatizzati di stoccaggio con satelliti hanno caratteristiche simili a quelle appena descritte, in questo caso si ha un livello ancora maggiore per quanto riguarda la flessibilità e l'indice di saturazione superficiale.

Quest'ultimo in particolare risulta essere massimo, poiché questa soluzione non necessita di nessun tipo di corridoio, i satelliti sono movimentati direttamente dai carrelli elevatori, che operano ai bordi della scaffalatura (Figura 4.4).

Essendo un sistema semiautomatico, che necessita quindi di un operatore per essere movimentato, la capacità di movimentazione è inferiore rispetto alla soluzione interamente automatica .

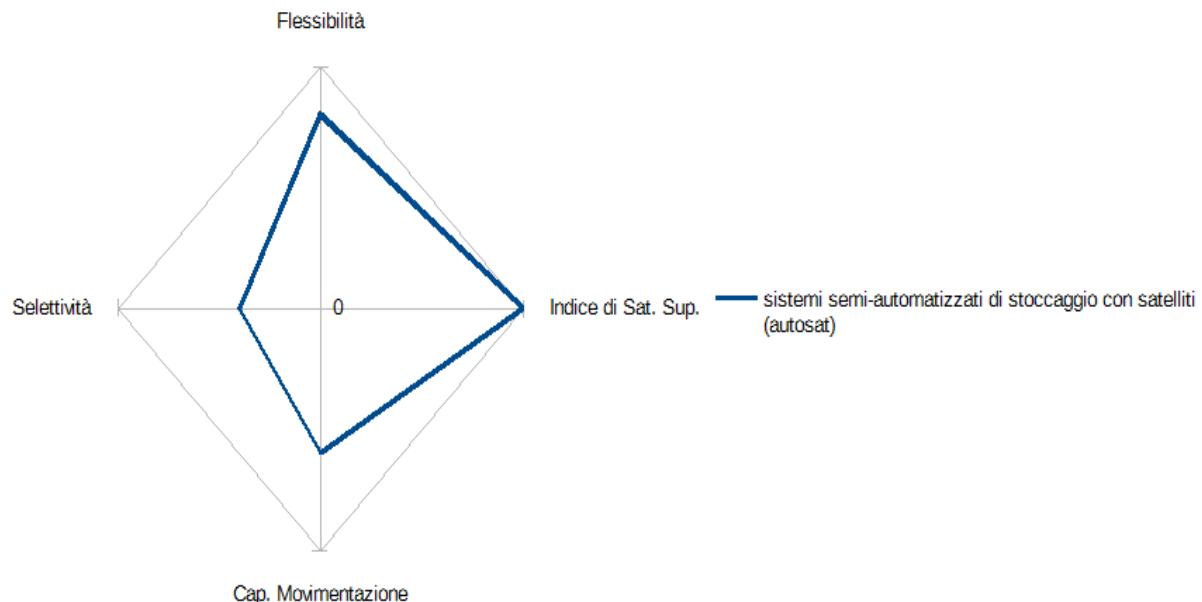


Figura 4.4: Caratteristiche di sistemi semi-automatizzati di stoccaggio con satelliti

La seconda soluzione automatica per pallet da classificare è rappresentata dal sistema Crane – Based fornito dall'azienda leader del mercato del material handling SSI Schafer.

Il sistema Lift & Run è caratterizzato da elevata saturazione superficiale dell'area di stoccaggio, all'aumentare della profondità dei corridoi, percorsi dagli shuttle, diminuirà l'indice di accessibilità alla merce. Il grande vantaggio di questa soluzione è un'elevata modularità della struttura, poiché i traslo si muovono su un numero ridotto di livelli, rendendo così i moduli sovrapponibili.

Se andiamo ad analizzare la flessibilità, al contrario, risulta evidente come questo tipo di sistema basato su traslo elevatori sia meno flessibile rispetto ad altri, modificare il numero di macchine, per un impianto di questo tipo è un'operazione onerosa e complessa.

Le potenzialità di movimentazione del sistema sono limitate dal fatto che ogni corridoio è servito da un unico traslo elevatore che deve prelevare e stoccare le UdC a varie profondità e su più livelli (Figura 4.5).

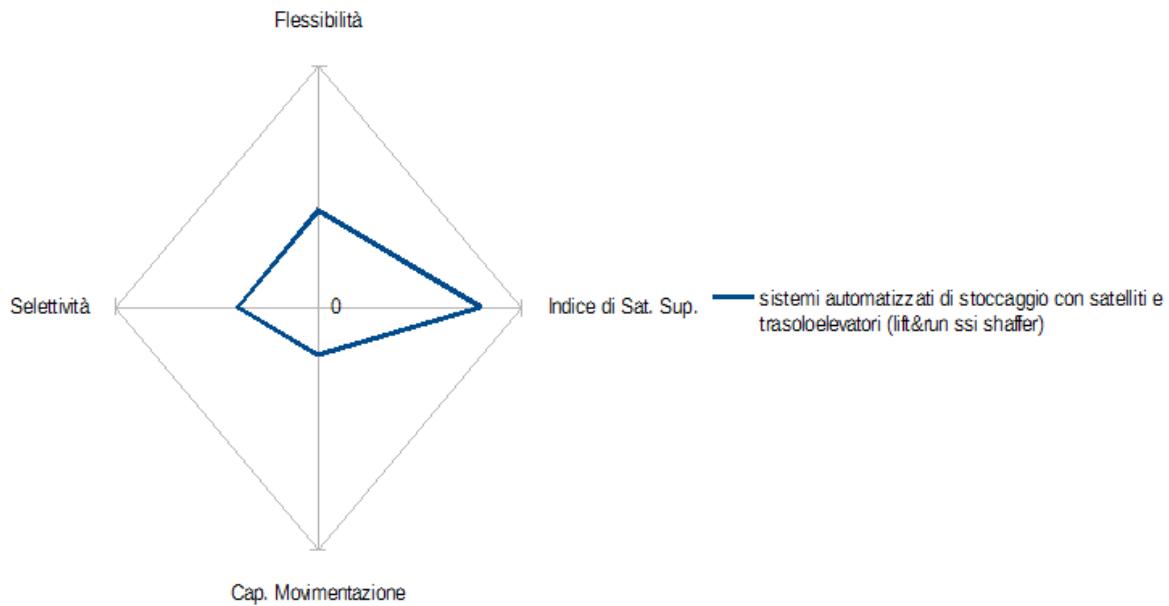


Figura 4.5: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con satelliti e traslooelevatori

L'ultimo sistema per la movimentazione dei pallet studiato è la soluzione Vehicle - Based di Savoye Logistics.

Il sistema Magmatic è caratterizzato da elevata flessibilità, il veicolo è completamente autonomo e per modificare le potenzialità del sistema è sufficiente aumentarne o diminuirne il numero.

Questo sistema lavora con scaffali a singola o in rari casi a doppia profondità, garantendo così un elevato indice di selettività, grazie anche al fatto che ogni veicolo ha accesso a tutte le celle di stoccaggio, questo attributo va però a discapito dell'indice di saturazione superficiale, infatti i corridoi di lavoro e di collegamento usati dal veicolo per consentire l'accesso a tutte le postazioni, comportano un coefficiente di saturazione superficiale minore rispetto alle altre soluzioni per pallet identificate.

Le ottime caratteristiche di flessibilità e selettività influiscono inevitabilmente sulle prestazioni in termini di merce movimentata, la soluzione AVS/RS consente la movimentazione di un numero di UdC nell'unità di tempo medio-basso rispetto alle altre soluzioni (Figura 4.6).

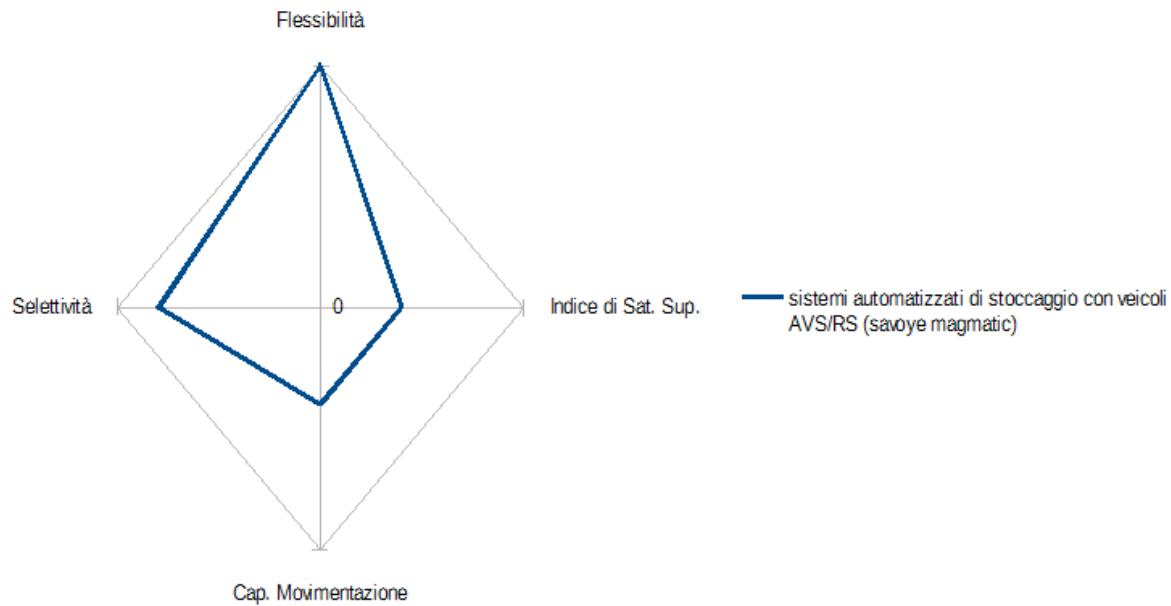


Figura 4.6: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con veicoli AVS/RS

Al fine di avere una visione di insieme delle caratteristiche dei sistemi studiati, di seguito verranno riportati su un unico piano tutti i grafici, in modo da rendere più semplice un confronto tra le varie soluzioni (Figura 4.7).

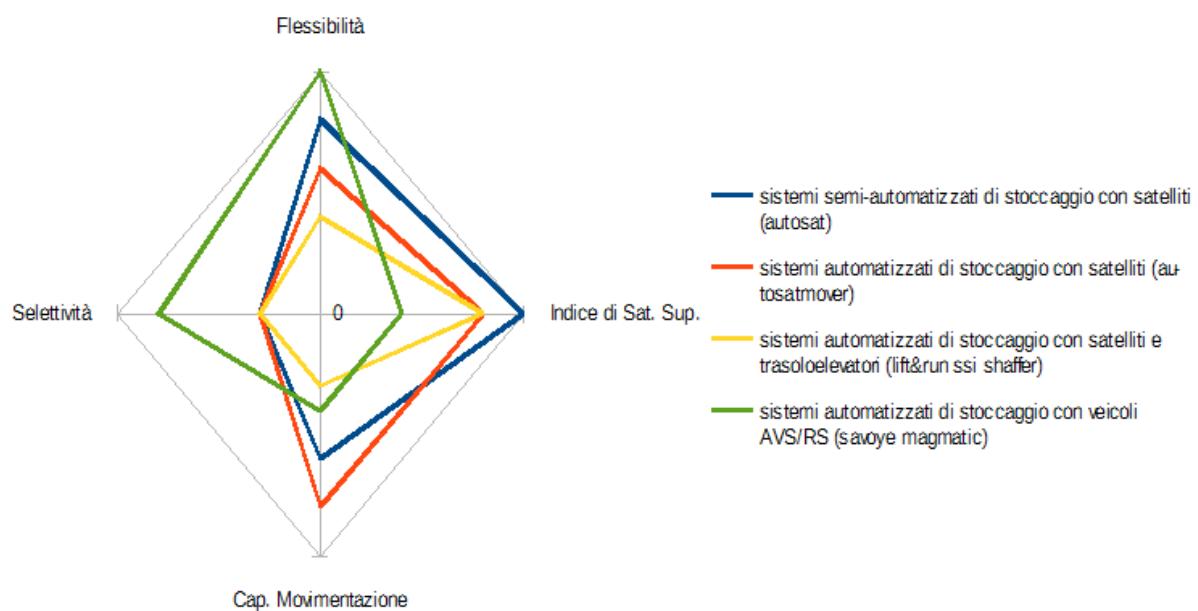


Figura 4.7: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio dei pallet

I sistemi con veicoli AVS/RS possiedono le più elevate caratteristiche di flessibilità e selettività, i clienti che hanno necessità di una selettività elevata possono far ricorso alla soluzione di Savoye Logistic ovvero un sistema Vehicle-Based in grado di accedere a tutti i vani della scaffalatura in modo autonomo, nonostante la capacità di movimentazione non sia particolarmente elevata per questi sistemi molto flessibili, è possibile adattarla con grande facilità alle variazioni dei flussi di merce all'interno del centro distributivo.

Per le aziende che presentano l'esigenza di avere una saturazione superficiale particolarmente elevata a discapito delle altre caratteristiche fondamentali, la soluzione da prendere in considerazione è sicuramente quella dei sistemi semi-automatizzati con veicoli, come ad esempio la soluzione a shuttle Autosat di Authoma, o nel caso di elevate capacità di movimentazione richieste, le soluzioni automatiche relative, con l'impiego del sistema Autosatmover, che garantisce la movimentazione di un numero di UdC/h più alto rispetto alle soluzioni considerate.

La soluzione automatica con traslo elevatori e veicoli, alla luce delle caratteristiche evidenziate in questa classificazione, presenta pochi vantaggi per il cliente, le aziende che volessero investire adottando questo tipo di sistemi di stoccaggio dovranno utilizzare altri parametri di valutazione che facciano riferimento a esigenze e richieste di magazzino differenti.

4.4 Classificazione delle soluzioni per scatole e vassoi

Per contenitori e vassoi varrà eseguito nelle righe successive lo stesso processo di classificazione già effettuato con i sistemi per la movimentazione dei pallet.

La prima soluzione studiata e analizzata all'interno del grafico di classificazione riguarda i sistemi di stoccaggio automatizzati AVS/RS ad altissima movimentazione per contenitori con configurazione *tier to tier*.

Per ogni caratteristica analizzata questi sistemi presentano un buon livello di competitività, questa particolarità li rende adatti ad una grande varietà di situazioni di stoccaggio, non vincolando l'utilizzo e quindi l'investimento a situazioni con particolari esigenze da parte del cliente.

Tra i sistemi ad altissima movimentazione, le soluzioni con configurazione *tier to tier* sono quelle che possiedono la minore capacità di movimentazione, la possibilità dei veicoli di accedere a un numero elevato di livelli attraverso l'uso dell'elevatore aumenta le caratteristiche di flessibilità e selettività limitando però le prestazioni in termini di merce movimentata (Figura 4.8).

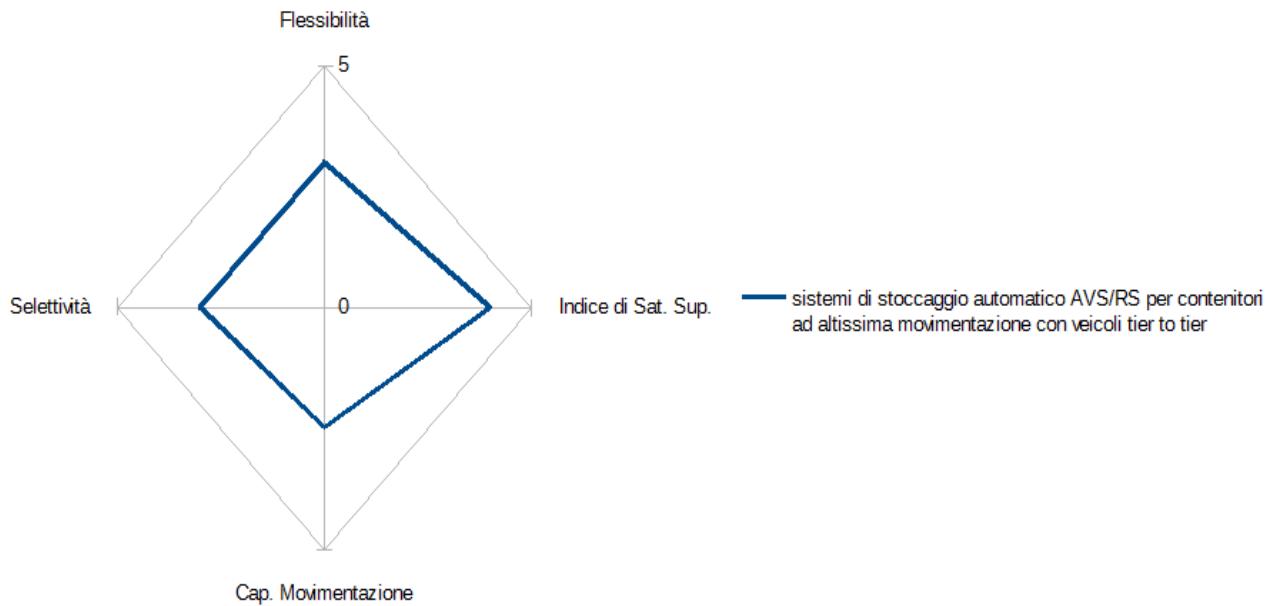


Figura 4.8: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori ad altissima movimentazione con veicoli tier to tier

Le soluzioni con con configurazione *tier captive* hanno caratteristiche simili ai sistemi AVS/RS ad altissima movimentazione descritti e classificati nelle righe precedenti, la struttura del magazzino è molto simile, l'indice di saturazione superficiale si mantiene costante, mentre flessibilità e selettività diminuiscono sensibilmente, i veicoli sono infatti vincolati nel servire un singolo livello di stoccaggio.

La caratteristica più importante per sistemi AVS/RS con configurazione *tier captive* è l'elevata capacità di movimentazione, l'elevato numero di veicoli consente il prelievo e lo stoccaggio intensivo di un gran numero di UdC in tempi ridotti (Figura 4.9).

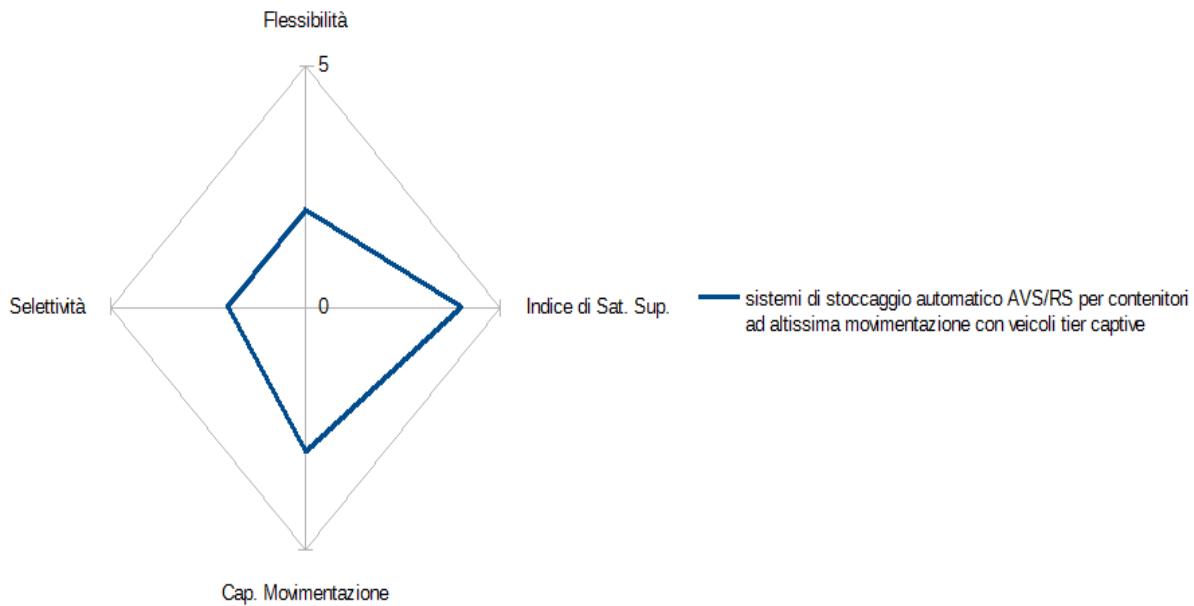


Figura 4.9: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori ad altissima movimentazione con veicoli captive

Un sistema con caratteristiche diametralmente opposte a quelli classificati fino ad ora è rappresentato dalla soluzione Ylog, ovvero un sistema di stoccaggio automatico AVS/RS non ad altissima movimentazione.

I robot indipendenti dotati di ruote sterzanti sono in grado di raggiungere tutte le celle di stoccaggio a qualsiasi livello della scaffalatura, garantendo il massimo indice di selettività e grandissima flessibilità.

Queste caratteristiche impediscono di ottenere capacità di movimentazione paragonabili agli altri sistemi automatici, sicuramente più prestazionali da questo punto di vista.

Uno degli ultimi sistemi ad essere introdotto sul mercato delle soluzioni automatiche per lo stoccaggio dei contenitori è Autostore, questo sistema utilizza dei robot che effettuano la movimentazione delle merce nello spazio in tutte e tre le dimensioni (Figura 4.10).

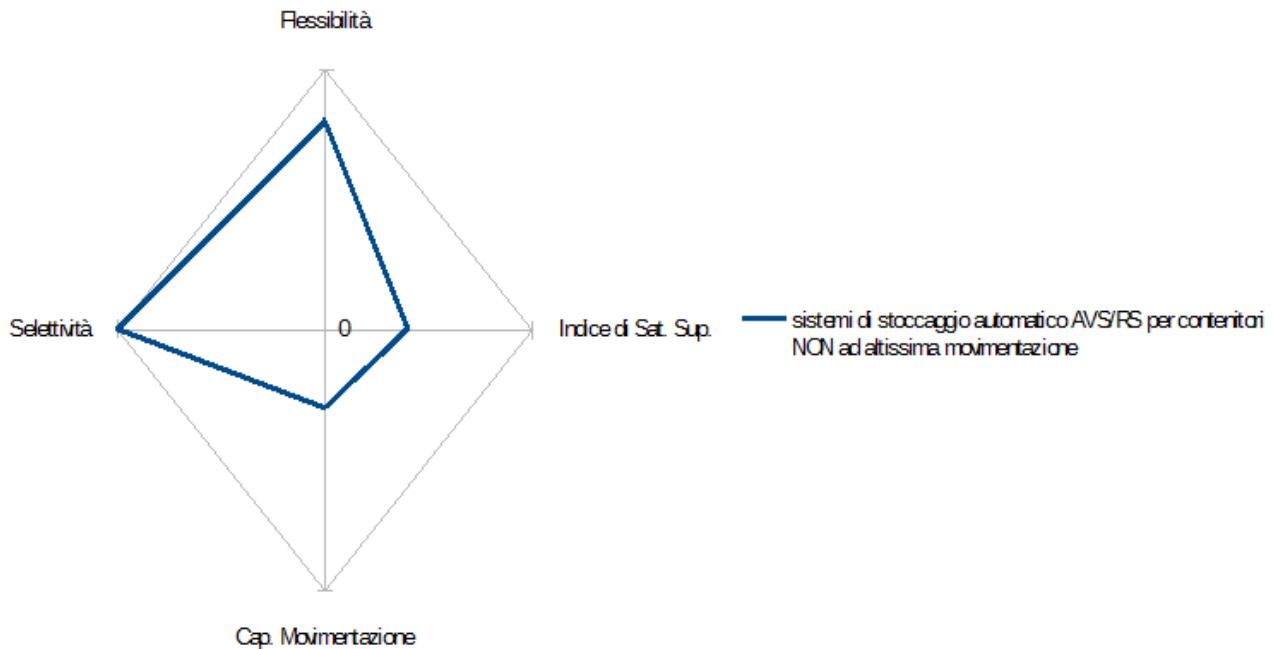


Figura 4.10: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio AVS/RS per contenitori non ad altissima movimentazione

I robot operano sulla superficie superiore di una struttura reticolare che ospita i contenitori, non è necessario nessun corridoio per avere accesso alla merce, pertanto la saturazione superficiale in questo caso è massima.

Flessibilità e elevata capacità di movimentazione della merce completano le caratteristiche di questo sistema che ha il difetto di avere un indice di selettività molto limitato, infatti le cassette sono impilate le une sulle altre e quindi non risulta possibile, per nessun robot, accedere direttamente ai contenitori situati ai primi livelli (Figura 4.11).

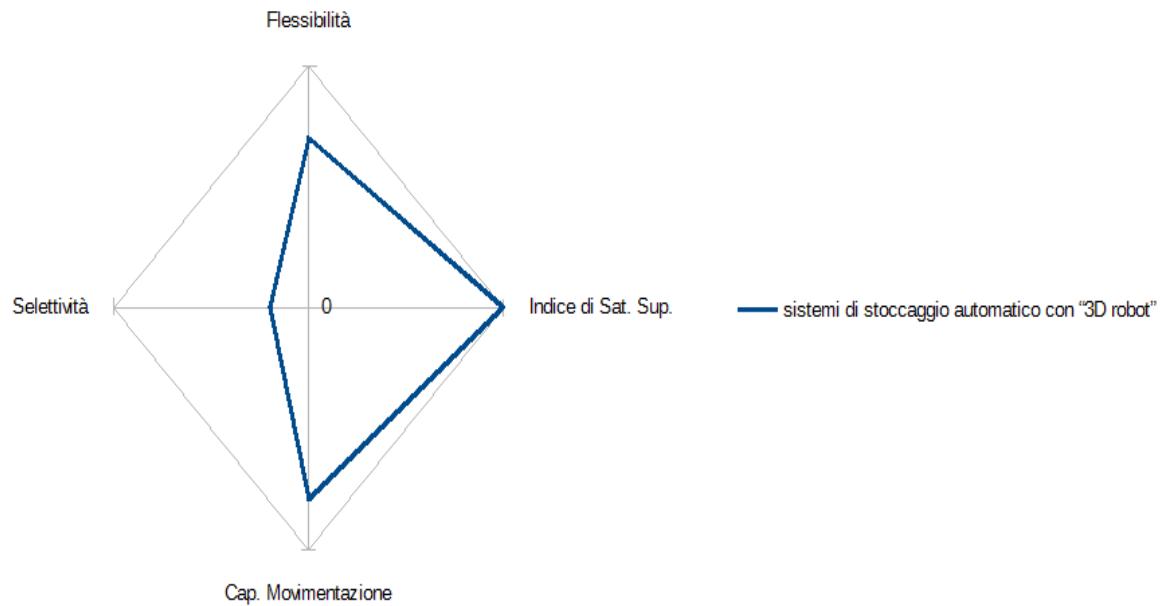


Figura 4.11: Caratteristiche di sistemi automatici di stoccaggio con "3D robot"

L'ultima soluzione studiata è rappresentata dai sistemi automatici per lo stoccaggio con scaffali mobili, progettata appositamente in primo luogo dall'azienda Kiva, di proprietà di Amazon, per sopperire alle esigenze dei centri distributivi che si occupano dei canali di vendita online, in particolar modo all'E-commerce.

A questo fine risultano fondamentali caratteristiche come flessibilità, selettività e capacità di movimentazione, l'indice che caratterizza in piccola parte queste soluzioni è la saturazione superficiale, infatti sistemi di questo tipo sono spesso installati in luoghi dove si ha grande disponibilità di spazio e dove l'acquisto di grandi spazi da adibire a magazzino è economicamente sostenibile (Figura 4.12).

La capacità di movimentazione non è particolarmente elevata ma queste soluzioni garantiscono una grande rapidità e capacità di allestimento ordini.

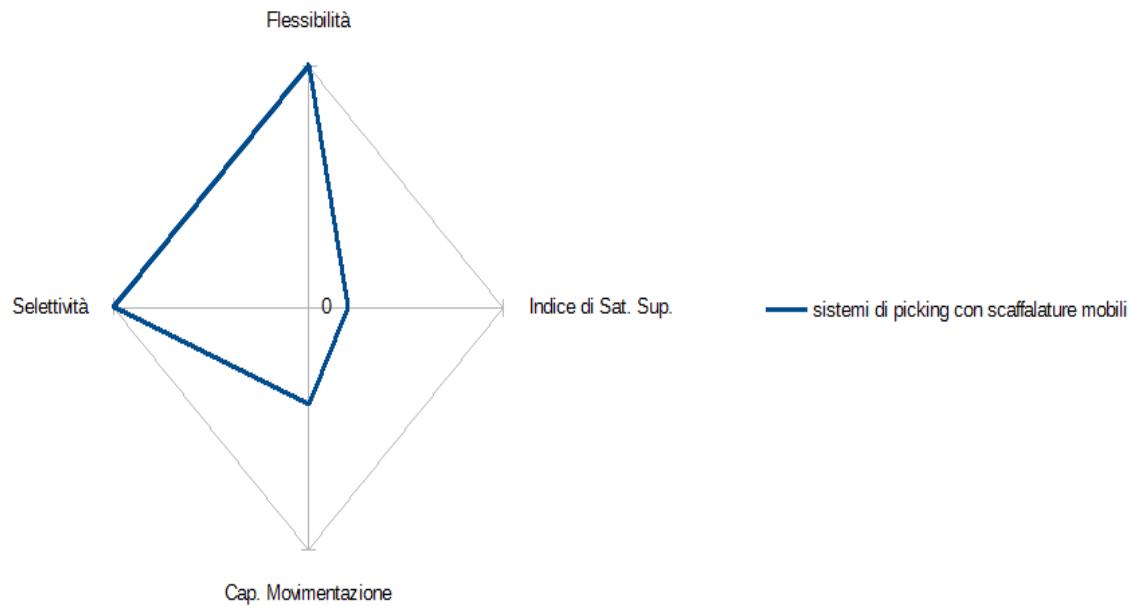


Figura 4.12: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio con scaffalature mobili

Tutte le soluzioni classificate singolarmente all'interno dei grafici sono state infine raccolte all'interno di un'unica figura, che ha lo scopo di rendere più semplice la lettura e lo studio effettuato nelle righe precedenti.

Il confronto tra i sistemi è sicuramente lo strumento più utile ad un eventuale azienda per effettuare un' scelta, per individuare la soluzione che soddisfi in modo più completo le esigenze e le prestazioni richieste per la progettazione di un nuovo centro di distribuzione o per l'ammodernamento e lo sviluppo di uno già esistente (Figura 4.13).

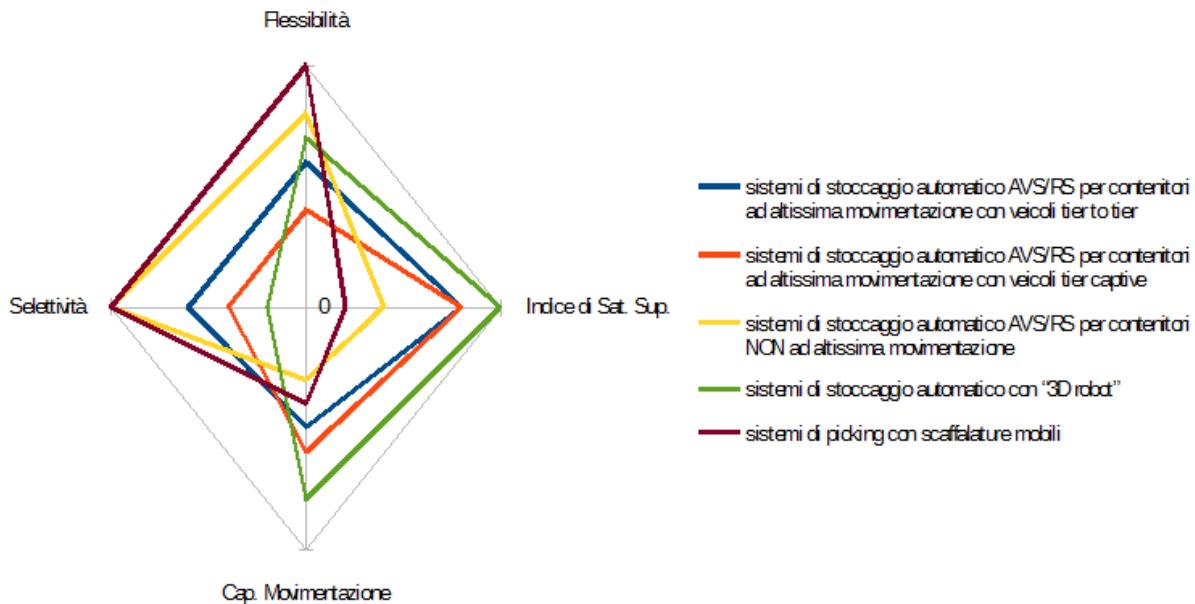


Figura 4.13: Caratteristiche di sistemi automatizzati di stoccaggio per la movimentazione di contenitori e vassoi

Dal grafico sopra riportato è possibile notare due tipi di andamento principali, infatti le prime tre soluzioni descritte, ovvero quelle che impiegano sistemi automatici di stoccaggio AVS/RS possiedono delle caratteristiche più equilibrate, i quattro indici scelti risultano bilanciati tra loro, non esiste caratteristica che vada etichettata come forte svantaggio competitivo.

Contrariamente a ciò, nelle ultime due soluzioni, i sistemi di stoccaggio automatico con 3D robot e con scaffalature mobili presentano vantaggi e svantaggi molto evidenti, alcune caratteristiche risultano essere molto sviluppate, altre invece costituiscono grossi limiti di applicabilità di questi sistemi all'interno dei centri distributivi.

Entrando nel dettaglio la soluzione di Kiva System, così come quella di Swisslog Carry Pick garantiscono le massime caratteristiche di Flessibilità e Selettività, ma per essere istallate all'interno di un centro distributivo hanno necessità di grandi spazi, capannoni coperti di elevata metratura, tipici del continente Americano.

Questo tipo di soluzioni sono pensate per utilizzi particolari, come ad esempio l'E-commerce, ma in generale risultano sistemi poco adattabili ai centri di distribuzione tradizionali.

È importante notare come tutti i sistemi classificati in questo capitolo conservino alcune caratteristiche che li rendono competitivi sul mercato senza sovrapporsi alle altre soluzioni, ogni sistema risulta essere ideale per un determinato campo applicativo e per soddisfare le particolari esigenze richieste dai clienti.

5 Magazzino automatizzato Neologistica

5.1 Descrizione generale dell'azienda

5.1.1 Storia e filosofia

Neologistica nasce nel 1999 come iniziativa imprenditoriale alternativa e innovativa nel mercato logistico.

L'azienda ha voluto comunicare già attraverso il nome (Neologistica) la sua filosofia, improntata da subito alla ricerca di innovazione tecnologica, in continua evoluzione e crescita in un mercato già maturo ed estremamente competitivo.

L'innovazione tecnologica e la continua ricerca del miglioramento dei processi sono i punti di forza dell'azienda.

Testimonianza di quanto siano fondamentali la ricerca e lo sviluppo di nuove soluzioni è stato il conseguimento del premio Piazza Mercanti per l'innovazione tecnologica, conferito a Neologistica dalla Camera di Commercio di Milano nel 2005 e la progettazione e lo sviluppo del nuovo polo logistico di Origlio.

Tecnologie, hardware, pacchetti software acquisiti come standard dal mercato vengono spesso potenziati e sviluppati, per soddisfare le esigenze di personalizzazione dei clienti e per garantire un continuo equilibrio tra costi e prestazioni.

L'azienda intende continuare a investire nella ricerca in diversi ambiti, in particolare laddove intravede margini di miglioramento:

- Automazione;
- Sicurezza;
- Ecologia.

5.1.2 Modello di business

Il mercato di riferimento, presente e futuro, è strettamente connesso a produttori che fanno dell'innovazione il loro fondamento culturale e che ripongono costantemente l'attenzione al reale rapporto tra costi e qualità del servizio.

In particolare, Neologistica opera nel mercato del deposito e distribuzione merci con autorizzazioni di stoccaggio e trasporto dei seguenti prodotti:

- Prodotti farmaceutici;
- Prodotti cosmetici;
- Prodotti veterinari;
- Prodotti stupefacenti;
- Additivi alimentari;
- Prodotti contenenti alcool (UTIF);
- Additivi chimici e aromi;
- Prodotti chimici pericolosi.

Neolististica si pone come obiettivo quello di offrire ai propri clienti i seguenti vantaggi competitivi:

- Velocità nel raggiungere il cliente attraverso un rapporto diretto (time-to-customer)
- Approccio personalizzato verso tutti i livelli aziendali per soddisfare ogni esigenza, da quelle più complesse di tipo organizzativo e tecnologico, fino alle necessità quotidiane, con un'attenzione particolare per gli aspetti strategici di medio e lungo periodo;
- Flessibilità nell'adattarsi ai continui mutamenti del mercato, delle normative e delle quantità da gestire;
- Rispetto dell'identità e della cultura aziendale;
- Attenzione ai costi.

L'azienda offre servizi logistici di diversi tipi per soddisfare tutte le esigenze dei clienti:

Logistica integrata

Neolististica effettua servizi di logistica integrata:

- Stoccaggio GMP prodotti -20°C, 2/8°C, 8/25°C;
- Stoccaggio GMP di prodotti in quarantena;
- Distribuzione merci e prodotti;
- Full Service;
- Fatturazione;
- Trasporto.

Il suo raggio di attività si estende principalmente su tutto il territorio nazionale.

Le categorie merceologiche trattate appartengono ai settori:

- Farmaceutico;
- Parafarmaceutico;
- Cosmetico;
- Chimico.

Logistica avanzata

Le specializzazioni e le autorizzazioni ottenute dal Ministero della Sanità permettono all'azienda di svolgere operazioni di confezionamento secondario e, in unità operative separate, attività di miscelazione di polveri e liquidi nel settore chimico.

Operazioni di confezionamento secondario:

- Cambio foglietti illustrativi;
- Cambio astucci;
- Applicazione bollini;
- Assemblaggio espositori medicinali.

Altre operazioni:

- Sovrastampa astucci;
- Reggiatura;
- Termoretrazione.

Logistica personalizzata

Oltre alle tradizionali attività legate alla gestione delle merci, Neologistica fornisce un'ampia gamma di servizi a valore aggiunto, che consentono di generare efficienza in termini di costi e servizi. Flessibilità di interfacciamento, help desk, Customer Service e tracciabilità totale sono caratteristiche insite nel modo di operare dell'azienda. Grazie a un sistema innovativo basato sul concetto di “merce verso l'operatore”, l'azienda ha raggiunto tre obiettivi fondamentali, che la rendono altamente competitiva:

- Automazione flessibile che ha permesso di superare la rigidità dei sistemi automatici tradizionali gestendo pallet, colli e singoli pezzi e consente di raggiungere direttamente farmacie e ospedali in tempi rapidissimi;
- Elevati standard di sicurezza sui sistemi antintrusione, antifurto e antincendio; riduzione degli errori e delle non conformità; gestione controllata e garantita delle merci e degli assemblaggi attraverso un sistema informatico dedicato;
- Risparmio energetico, ottenuto tramite magazzini eccezionalmente isolati e coibentati, impianti di produzione frigorifera speciali, sfruttamento dell'effetto geotermico e un impianto fotovoltaico che fornisce gran parte dell'energia utilizzata.

5.2 Il magazzino di Origgio

5.2.1 Descrizione generale

Nel 2008 Neologistica ha realizzato nel polo industriale di Origgio una piattaforma distributiva d'eccellenza per il settore farmaceutico, un nuovo impianto logistico per offrire ai propri clienti una migliore qualità del servizio erogato e una maggiore capacità di stoccaggio e di risposta alle loro esigenze. La scelta di ricorrere all'automazione di un magazzino è stata guidata da diverse ragioni. In particolare, l'azienda ha ritenuto una fonte di vantaggio competitivo andare in controtendenza rispetto ai concorrenti del settore. Infatti, Neologistica opera in un mercato ove la maggioranza degli operatori subappaltano a cooperative e fornitori di handling la gestione fisica dei prodotti. Tale modello operativo, di fatto, prevede la delegazione delle responsabilità del trattamento della merce a terze parti: l'azienda ha deciso di rispondere a questa tendenza internazionalizzando totalmente la responsabilità della gestione dei prodotti mediante sistemi automatici. L'internazionalizzazione e la delegazione delle responsabilità contribuisce ad aumentare la qualità del servizio offerto: ciò costituisce un altro elemento che ha condotto Neologistica a optare per sistemi automatici in grado di fornire una qualità costante monitorabile e programmabile in un contesto operativo caratterizzato da una normativa particolarmente severa.

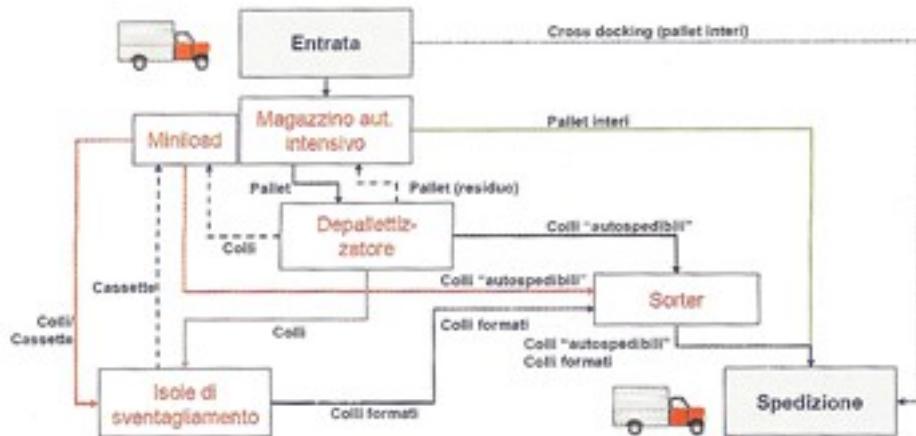


Figura 5.1: Schema generale dei flussi

Pertanto, in presenza di un quadro normativo in evoluzione secondo tendenze dirette a una maggiore regolamentazione della qualità della gestione dei prodotti farmaceutici (tracciabilità della merce e garanzia della corretta movimentazione), la presenza di sistemi automatici conferisce maggiore “certezza” al contesto operativo e pertanto, secondo l’azienda, costituisce un ulteriore elemento di vantaggio competitivo. Ovviamente ciò è stato reso possibile anche dalla presenza di flussi in gioco (inbound pari a 200 pallet/h, outbound pari a circa 60 pallet/h e 3.000 colli/h) la cui entità consente un proficuo utilizzo dell’automazione di magazzino (Figura 5.1).

Il magazzino automatico a doppia profondità gestisce sia pallet sia colli e singole confezioni con un doppio sistema di traslo e miniload, che si interfaccia con differenti aree operative su più livelli, collegate da un sistema di movimentazione con rulliere, nastri trasportatori, scivoli e sorter, integrato con linee put-to-light e di imballaggio. La flessibilità dell’intero sistema è garantita dalla possibilità di gestire il prelievo e la lavorazione massiva sia di pallet e colli interi sia di singoli pezzi e scatole (movimentati attraverso bacinelle di plastica), mentre la sicurezza è assicurata dalla completa tracciatura tramite barcode dei colli, in ogni fase della *supply chain*.

Il magazzino (Figura 5.2) ha un altezza effettiva di 29 metri, l’interramento di 4 metri consente di rispettare i vincoli urbanistici che prevedono un’altezza massima degli edifici di 25 metri. La superficie coperta è di 30.000 m², la dimensione dedicata allo stoccaggio intensivo è di 7.000 m². In dettaglio la struttura del magazzino, realizzata da Sacma per Neologistica, ha una capacità ricettiva di progetto di 50.000 posti pallet, è di tipo autoportante, con pallet stoccati su 16 livelli in altezza e in 28 file su 7 corridoi serviti da traslolevatori con forche estensibili a doppio sfilamento (forniti da Jungheinrich) con travi sfalsate di 150 mm fra la prima e la seconda profondità.



Figura 5.2: Disegno del magazzino di Origlio

All'interno della struttura autoportante sono posizionati nella doppia profondità i miniload forniti da Zecchetti per la movimentazione dei colli sfusi con una capacità ricettiva di 60.000 scatole. Questi ultimi depositano e prelevano colli su 26 piani in altezza, sono presenti su 5 corridoi e operano in singola profondità con un doppio sistema di prelievo a bracci laterali telescopici indipendenti, montati sullo stesso carrello di sollevamento. I braccetti laterali dei miniload sono dotati di un movimento di correzione della loro distanza in funzione della larghezza dei colli da prelevare. È inoltre presente, su ogni organo di presa (che può movimentare un peso massimo di 20 kg), un doppio nastro di supporto e riposizionamento dei colli per consentire un accostamento a entrambi i fronti della scaffalatura.

Il piano del deposito essendo interrato consente di mantenere la temperatura controllata tra i 15 e 25°C grazie allo sfruttamento dell'effetto geotermico.

Il sistema antincendio è unico in Italia, impedisce la combustione privando il triangolo del fuoco (innesco, comburente e combustibile) di una parte essenziale ossia il comburente, l'ossigeno. Il sistema prevede il mantenimento della presenza di ossigeno nell'atmosfera all'interno dell'area automatizzata a circa il 15% (inferiore al valore normale pari al 21%, e ridotta rispetto alla soglia del 17%, al di sotto della quale la combustione non può avvenire) attraverso l'introduzione di azoto, come gas inerte, tramite 35 punti di immissione e monitorando l'omogeneità della composizione con 40 punti di campionamento. Questo sistema garantisce la tutela di tutta la merce in magazzino e non impone i vincoli strutturali tipici dei sistemi antincendio tradizionali.

L'energia necessaria al funzionamento dell'intera piattaforma distributiva (Figura 5.3) è in parte ricavata da un impianto fotovoltaico posto sul tetto del deposito. L'attenzione al risparmio energetico e alla sostenibilità ha coinvolto anche gli aspetti operativi, tra cui la scelta dei traslo elevatori da inserire in magazzino dotati di inverter, con il recupero di energia in frenata. Con questo accorgimento non solo è possibile recuperare e reimettere energia in rete, ma si evitano inoltre dispersioni di calore, dannose per il mantenimento di una temperatura controllata.

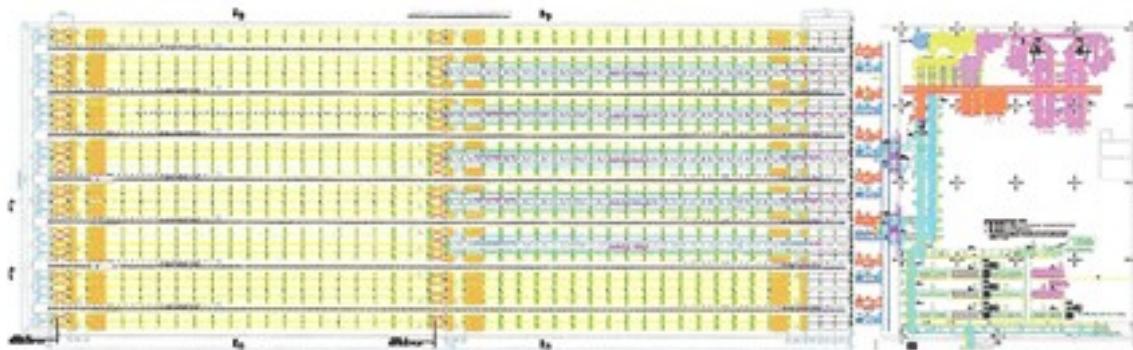


Figura 5.3: Disegno dell'impianto di Origgio

5.2.2 Flusso pallet

Per comprendere al meglio i flussi delle merce in entrata e in uscita è utile suddividere il deposito in 4 aree.

5.2.2.1 Accettazione (ACEMA)

Questa zona è la prima raggiunta dai pallet che vengono scaricati dai camion, composta da 3 ribalte di carico (Figura 5.4), ovvero 3 tratti di convogliatore paralleli dove vengono eseguite tutte le operazioni di accettazione dei pallet:

- Due lettori di bar-code, posti ai due lati del trasportatore, verificano se il pallet è già provvisto di una etichetta di identificazione; se l'etichetta risulta letta dal lettore di destra e non da quello di sinistra, il pallet viene marcato “da ruotare di 180°”;
- Viene verificato il tipo di pallet (800x1200 mm, 1000x1200 mm);
- Viene verificato che il debordo del carico rispetto al pallet non superi i 20 mm per lato
- Viene verificata l'altezza del pallet rispetto alle due soglie ammissibili (1200 mm e 2125 mm);
- Viene verificata l'inforcabilità del pallet, controllando che l'area tra gli zoccoli del pallet risulti libera per tutta la sua lunghezza;
- Viene acquisito il peso del pallet;
- L'esito dei controlli viene memorizzato nel tracking del pallet.

Tipo di UDC in ingresso:

- Pallet filmati, etichettati all'origine oppure etichettati in fase di accettazione;
- Pallet smezzati di colli;
- Cataste di pallet vuoti;
- Pallet di cassette vuote.



Figura 5.4: Ribalte di carico in area ACEMA

I pallet sulle linee ACEMA vengono sottoposti alle operazioni di spunta e verifica.Terminate queste operazioni il pallet, etichettato con proprio bar-code, viene fatto avanzare dall'operatore premendo un pulsante di evacuazione.

Se i controlli non vengono superati il pallet viene mandato fuori dalla linea automatica e viene gestito manualmente dagli operatori.

5.2.2.2 Ricircolo

È la zona nella quale i pallet attendono di essere deviati verso la loro destinazione. È composta da un tratto di convogliatore ad anello chiuso sul quale sono presenti 4 uscite e 4 ingressi (Figura 5.5). In figura è rappresentata schematicamente una vista dall'alto del tratto in questione, facendo riferimento a questa immagine gli spostamenti orizzontali avvengono per l'azione motrice della rulliera mentre gli spostamenti verticali vengono effettuati attraverso l'azionamento di una catena posizionata sotto il livello dei rulli.

Nei punti d'angolo i tratti di convogliatore a rulli possono abbassarsi facendo così appoggiare il pallet sulla catena.

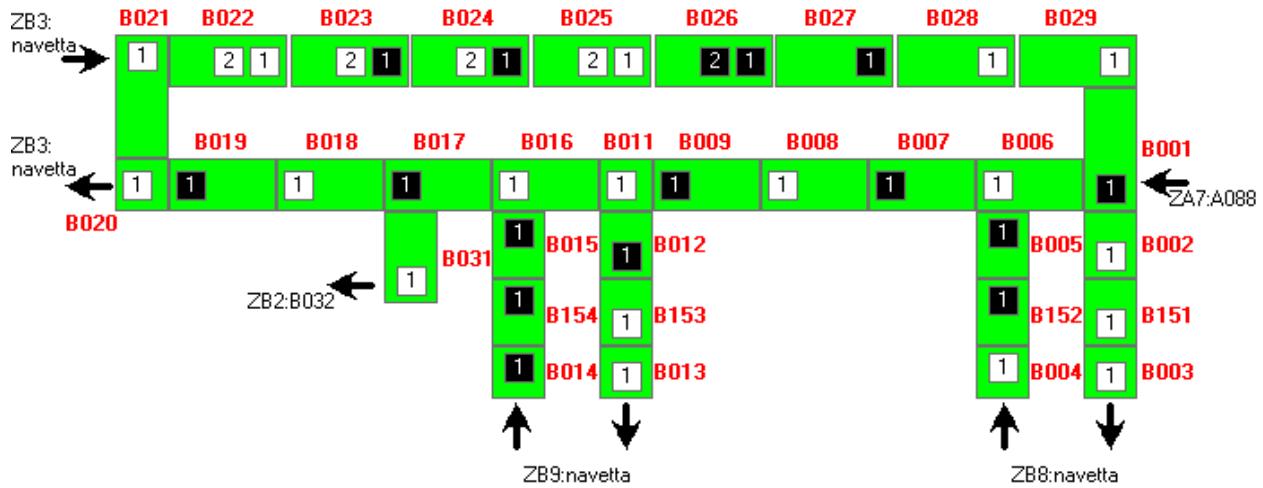


Figura 5.5: Instantanea del tratto di convogliatore della zona di ricircolo dei pallet, ingressi e uscite. I quadratini neri indicano la presenza di un pallet nella posizione, rilevata da una fotocellula.

Ingresso pallet sull'anello di ricircolo:

- ZA7: Pallet provenienti dall'accettazione, area ACEMA;
- ZB8: Pallet provenienti dal magazzino dalla navetta 1 e quindi dai traslo 1,2 e 3;
- ZB9: Pallet provenienti dal magazzino dalla navetta 2 e quindi dai traslo 4,5,6 e 7;
- ZB3: Pallet provenienti dalla navetta della zona di depalletizzazione.

Uscita pallet dall'anello di ricircolo:

- ZB8: Pallet destinati al magazzino, alla navetta 1 e quindi ai traslo 1,2 e 3;
- ZB9: Pallet destinati al magazzino, alla navetta 2 e quindi ai traslo 4,5,6 e 7;
- ZB2: Pallet destinati all'elevatore e quindi all'area spedizioni al piano rialzato;
- ZB3: Pallet destinati alla navetta della zona di depalletizzazione.

5.2.2.3 Area di stoccaggio dei pallet

Questa è la zona di stoccaggio dei pallet, composta da 7 traslo elevatori serviti da 2 navette indipendenti. Ogni navetta ha un uscita e un ingresso sul tratto di ricircolo. Quando un pallet raggiunge una deviazione verso la linea di alimentazione di una delle due navette di testata magazzino viene verificato che sia possibile inviare il pallet verso la testata traslo, senza bloccare il flusso dei pallet successivi.

Le verifiche effettuate sono le seguenti:

- La zona di impianto a cui appartiene la testata di alimentazione del traslo a cui è destinato il pallet deve essere attiva;
- Il numero totale di pallet inviati verso la testata di alimentazione del traslo a cui è destinato il pallet, e non ancora prelevati dal traslo, deve essere < 3;
- Il numero totale di pallet accodati verso la navetta, e non ancora prelevati dalla navetta, deve essere < 3.

Se le verifiche non vanno a buon fine il pallet viene fatto ricircolare.

Nel caso in cui una navetta viene dichiarata fuori servizio (funzionamento di backup con l'altra) la navetta rimanente deve smaltire per prima cosa la coda di pallet sui trasporti per la navetta fuori servizio.

In seguito a questa dichiarazione, viene richiesta la cancellazione delle destinazioni per tutti i pallet destinati ai traslo serviti dalla navetta.

Se il pallet non è ancora stato indirizzato verso la navetta, la missione viene cancellata, altrimenti la missione rimane in essere.

Lo stesso procedimento viene eseguito nel caso ci sia una testata di un traslo momentaneamente non disponibile.

5.2.2.4 Depalletizzazione

È la zona in cui i pallet vengono aperti e vengono prelevati i colli. Sono presenti 4 stazioni di lavoro servite da una navetta che collega le stazioni all'anello di ricircolo.

In questa zona esiste un punto di uscita e uno di ingresso dei pallet dal “Fuori Linea”, ovvero un area in cui i pallet sono gestiti manualmente da un operatore, esiste inoltre un punto di accumulo dei pallet vuoti provenienti dalle isole di depalletizzazione.

Il pallet viene deviato verso la navetta della depalletizzazione se la destinazione è una delle seguenti:

- Depalletizzazione;
- Pallet di cassette vuote;
- Uscita fuori linea.

Quando il pallet è a bordo della navetta viene verificato il tracking per valutare dove deve essere trasferito.

Nel caso in cui il pallet sia destinato alla depalletizzazione viene decisa poi, verso quale isola di depalletizzazione verrà indirizzato, scegliendo quella in cui al momento sono accodati meno pallet in attesa.

Se il pallet è destinato alla depalletizzazione ma non è possibile trasferirlo perché le code di accumulo alle isole di depalletizzazione sono piene, il pallet non viene trasferito alla navetta ma viene fatto proseguire nel ricircolo.

Quando l'operatore richiede l'evacuazione del pallet dalla zona di depalletizzazione viene eseguito un controllo tra il numero di colli inizialmente presenti e quelli da prelevare: se il numero colli residui è > 0 il pallet viene dichiarato "pallet in rientro per magazzino", altrimenti viene dichiarato "pallet vuoto".

- Se il pallet dichiarato come "pallet in rientro per magazzino" la destinazione indicata è il controllo sagoma per rientro a magazzino.
- Se il pallet dichiarato come "pallet vuoto" la destinazione indicata è l'impilatore vuoti.

Viene eseguito inoltre un controllo fisico-logico della corrispondenza vuoto/pieno (con fotocellula): in caso di incongruenza il pallet viene inviato fuori linea indipendentemente dalla destinazione indicata.

5.3 Descrizione del problema

In condizioni particolarmente stressate, ad esempio nel frequente caso in cui arrivino alla banchina di scarico più camion contemporaneamente, le tre ribalte di carico risultano piene e la coda in ingresso al magazzino è notevole.

Osservando attentamente il sistema in funzione si può facilmente notare come i pallet in ingresso abbiano delle difficoltà ad entrare nella zona del ricircolo.

Il numero massimo di pallet che possono girare all'interno del ricircolo è fissato, molto spesso nelle situazioni sopra elencate si può notare come nel tratto di ritorno del ricircolo siano presenti un gran numero di pallet, questi ultimi impediscono ovviamente a nuovi pallet di entrare.

Risalendo al tracking dei pallet sul convogliatore, attraverso l'uso di un pc, si nota come alcuni di questi facciano 2 o più giri prima di essere deviati verso la loro destinazione o verso il fuori linea.

Questa situazione comporta un problema significativo in termini di tempo e di efficienza del sistema, limitando fortemente le potenzialità di stoccaggio e di prelievo.

Risulta quindi utile, al fine di migliorare le prestazioni del sistema, indagare sulle motivazioni per cui troppi pallet non vengano deviati subito verso la loro destinazione, ma siano costretti ad effettuare uno o più giri all'interno del ricircolo.

Un altro problema frequente si presenta nel momento in cui uno dei sette traslo si trova fuori servizio, la testata del traslo si riempie molto velocemente e il sistema, fintanto che non viene segnalata l'anomalia, continua ad assegnare ai pallet quella destinazione.

Il risultato è che i pallet presenti nel ricircolo, che hanno assegnata come destinazione la testata piena del traslo fuori servizio, continuano a girare nel ricircolo.

In questo caso non è possibile cambiare la destinazione del pallet deviandolo ad esempio verso un'alta testata vuota di un traslo in funzione, poiché si verificherebbe la dispersione dei pallet nel magazzino e si ridurrebbe la capacità di quest'ultimo, in quanto spesso non si andrebbe a sfruttare la doppia profondità.

5.4 Proposta di interventi migliorativi

I possibili interventi migliorativi e l'eventuale modifica delle logiche del software di gestione sono stati individuati sulla base dell'analisi del sistema e dello studio del suo funzionamento.

L'osservazione del sistema, l'analisi dei dati e il confronto con il personale aziendale hanno permesso di sviluppare alcune proposte di ottimizzazione della soluzione attuale.

5.4.1 Modifica della logica di ingresso dei pallet da area ACEMA

Per favorire l'ingresso dei pallet nel ricircolo (Figura 5.6) è possibile modificare le priorità e il rapporto tra pallet in ingresso e pallet in ricircolo, a seconda della posizione che quest'ultimi occupano.



Figura 5.6: Ingresso pallet nella zona ricircolo

Conoscendo in modo ottimale il percorso di ogni pallet grazie al software di gestione, valutando di volta in volta il posizionamento dei pallet, è possibile variare il rapporto di ingresso dei pallet.

Spesso nel caso in cui la linea di ritorno del ricircolo non sia particolarmente piena di pallet, potrebbe risultare efficace fare attendere i pallet che stanno facendo il giro sul ricircolo, favorendo così l'ingresso dall'area ACEMA.

Inoltre i pallet già all'interno dell'anello convogliatore, per portarsi dalla posizione B029 alla posizione B001 impiegano un tempo maggiore rispetto a quelli che vengono introdotti direttamente dall'area Acema, poiché per effettuare il tratto d'angolo il convogliatore deve salire e scendere per permettere alla catena di trascinare il pallet nella nuova posizione.

Prestando particolare attenzione al sistema, si sono potute misurare in ogni tratto le prestazioni della rulliera, in termini di tempo di percorrenza dei singoli pallet.

In seguito all'analisi di questi dati, sono state ipotizzate delle modifiche delle logiche del software di gestione, in modo tale da poter variare il rapporto di ingresso istantaneamente, in funzione delle informazioni provenienti dalle fotocellule che verificano la presenza dei pallet nel ricircolo.

- Se sono presenti nel ricircolo da 13 a 18 pallet rapporto ingresso/ricircolo 1:1;
- Se sono presenti nel ricircolo da 10 a 12 pallet rapporto ingresso/ricircolo 2:1;
- Se sono presenti nel ricircolo da 6 a 9 pallet rapporto ingresso/ricircolo 3:1;
- Se sono presenti nel ricircolo da 1 a 5 pallet rapporto ingresso/ricircolo 4:1.

5.4.2 Modifica della logica di gestione dei pallet deviati verso elevatore

Se i pallet in uscita dal magazzino sono destinati all'elevatore e quest'ultimo non è al momento disponibile, poiché ci sono altri pallet in coda, si potrebbe utilizzare la linea di uscita dal magazzino (3 posti pallet) come buffer supplementare evitando in questo modo di intasare il ricircolo.

L'elevatore costituisce un collo di bottiglia del sistema, i tempi di salita e di discesa sono di poco superiori rispetto all'effettiva necessità del sistema per annullare i tempi di attesa.

Per questo motivo nonostante il buffer a valle e a monte dell'elevatore sia di dimensioni ridotte, nell'impossibilità di introdurre modifiche fisiche all'interno del sistema, attraverso una attenta analisi si è potuto constatare che apportare alcune modifiche alle logiche di gestione avrebbe portato al sistema dei benefici in termini di ottimizzazione dei tempi di percorrenza.

- Se il sistema attraverso l'utilizzo di fotocellule segnala la presenza di un pallet fermo nella posizione B017 in attesa di essere deviato verso l'elevatore

Allora il pallet in uscita dal magazzino dai traslo 4-5-6-7, anch'esso diretto all'elevatore, viene fatto attendere lungo la linea di uscita, fintanto che il pallet in posizione B017 viene deviato in B031.

1. Se il sistema attraverso l'utilizzo di fotocellule segnala la presenza di un pallet fermo nella posizione B017, in attesa di essere deviato verso l'elevatore e un di un'altra UDC con destinazione "elevatore" nelle posizioni dalla B006 alla B016;
2. Se il sistema attraverso l'utilizzo di fotocellule segnala la presenza di 2 UDC con destinazione "elevatore" nelle posizioni dalla B006 alla B016.

Allora il pallet in uscita dal magazzino dai traslo 1-2-3, anch'esso diretto all'elevatore, viene fatto attendere lungo la linea di uscita, fintanto che le condizioni indicate in precedenza vengono meno.

Un pallet per effettuare un giro completo sul ricircolo, quando quest'ultimo è quasi vuoto, impiega circa 4 minuti.

Al fine di valutare un effettivo miglioramento delle prestazioni del sistema, sono stati acquisiti i tempi di trasferimento dei pallet lungo il ricircolo e il tempo ciclo dell'elevatore.

I pallet in uscita dal magazzino dalla navetta 1 raggiungono la posizione di deviazione verso l'elevatore in circa 53 secondi.

La deviazione del pallet nella posizione di buffer, prima del carico sull'elevatore, è stata valutata intorno agli 8 secondi.

Il tempo di carico sull'elevatore per ogni pallet è di circa 6/7 secondi.

Il tempo di carico per un ciclo completo dell'elevatore (con 2 pallet) è di circa 15 secondi.

L'elevatore impiega circa 8 secondi per raggiungere il piano superiore e circa 20/22 secondi a scaricare i pallet.

Il tempo ciclo dell'elevatore è quindi circa 52 secondi (15+8+22+8).

Riflettendo su questi dati temporali potrebbe essere vantaggioso modificare la seconda condizione riguardante la prima navetta portando da 2 a 3 i pallet presenti sul ricircolo, con questa modifica la seconda condizione sarebbe:

“Se il sistema, attraverso l'utilizzo di fotocellule, segnala la presenza di 3 UDC con destinazione “elevatore” nelle posizioni dalla B006 alla B016, allora il pallet in uscita dal magazzino dai traslo 1-2-3, anch'esso diretto all'elevatore, viene fatto attendere lungo la linea di uscita, fintanto che le condizioni indicate in precedenza vengono meno.

Inoltre potrebbe essere vantaggioso fare attendere il quarto pallet sul ricircolo non solo nel caso in cui l'elevatore sia vuoto e in fase di discesa, ma in tutti i casi, poiché risulta più svantaggioso fare eseguire un giro del ricircolo al pallet piuttosto che fermare il ricircolo per un massimo di 30 secondi.

5.4.3 Modifica della logica di gestione delle stazioni di depalletizzazione

Per quanto riguarda la navetta della depalletizzazione, non vengono assegnate priorità alle destinazioni dei pallet verso le 4 stazioni. Potrebbe essere opportuno, se disponibile, favorire l'utilizzo della prima stazione di depalletizzazione, in quanto la navetta in questo caso deve solo trasferire i pallet dalla parte opposta senza spostarsi.

Se lo scarico del pallet alla stazione 1 è disponibile, la navetta non si muove e scarica il pallet alla stazione di depalletizzazione 1.

Se lo scarico alla stazione 1 non è disponibile, si verifica la stessa condizione nella stazione 2 e così via.

Con questa soluzione è possibile limitare i movimenti della navetta e ridurre gli spostamenti dei due operatori, che si occupano di caricare i colli sul nastro, da una stazione all'altra.

In questo modo l'utilizzo delle stazioni di depalletizzazione sarebbe sicuramente meno equilibrato, poiché le stazioni 3 e 4 verrebbero sfruttate solo in caso di necessità, solo in caso di picchi di carico.

La stazione 1 sarà la più utilizzata, mentre la 4 sarà la meno utilizzata.

5.5 Stima dei benefici

L'obiettivo principale delle modifiche e degli interventi da apportare al software di gestione è, in particolare, evitare l'intasamento della zona del ricircolo, che è sicuramente la parte più critica del sistema.

In termini di prestazioni logistiche, ciò comporterebbe i seguenti benefici:

- Riduzione del tempo di evasioni degli ordini;
- Abbattimento degli errori;
- Incremento dell'efficienza del personale (minori spostamenti tra le stazioni di depalletizzazione, semplificazione della gestione e riduzione del numero di pallet fuori linea).

Tali benefici a livello generale all'interno del sistema sono stati determinati soprattutto dall'aumento del numero di pallet in ingresso nella zona di ricircolo, proprio per verificare questa caratteristica del sistema si è proceduto con la raccolta dei dati a monte e a valle delle implementazioni effettuate. Più precisamente sono stati scelti casualmente, durante l'arco della giornata, alcuni momenti in cui le ribalte di carico della zona di accettazione (area Acema) fossero abbastanza piene da garantire la presenza continua dei pallet all'ingresso della zona di ricircolo. Proprio questo punto dell'impianto è stato oggetto delle nostre misurazioni.

Posizionandoci in prossimità delle zone di ingresso, abbiamo contato nell'intervallo di 5 minuti quanti pallet entravano nella zona di ricircolo nella stazione B01, questa operazione di conteggio dei pallet è stata ripetuta sei volte all'inizio del lavoro, quando il software operava con le vecchie logiche di gestione e altrettante volte a seguito dell'intervento del programmatore, che ha ottimizzato il funzionamento dell'impianto apportando le modifiche studiate.

Diagrammando i dati all'interno di due grafici si sono potute rappresentare le prestazioni dell'impianto nelle due situazioni all'inizio (Figura 5.7) e alla fine del lavoro (Figura 5.8).

Prima delle modifiche

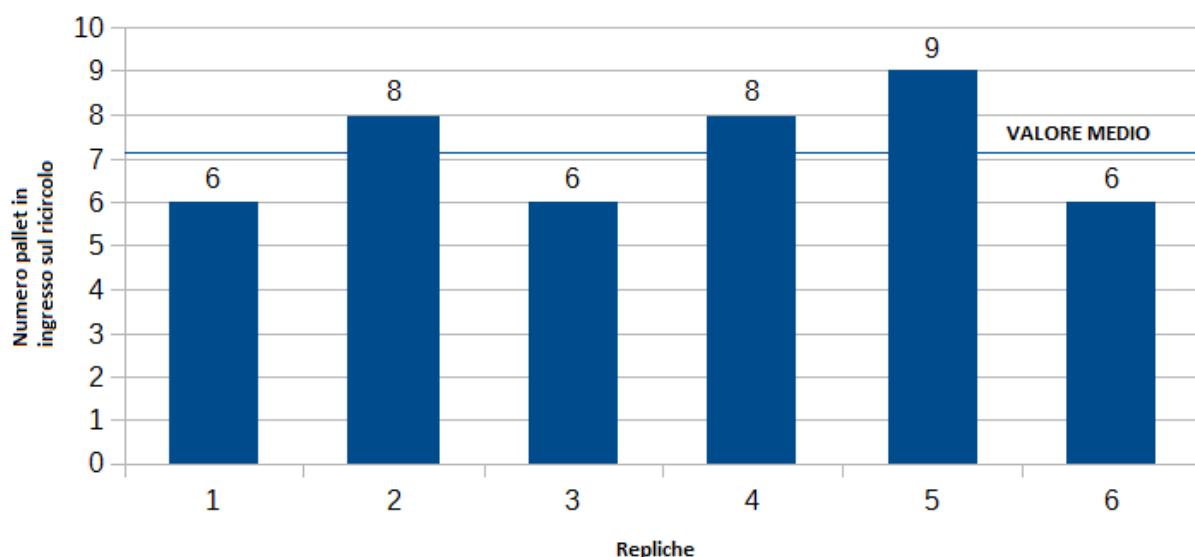


Figura 5.7: Numero di pallet in ingresso nella zona di ricircolo nell'unità di tempo (5 min), prima delle modifiche alle logiche di sistema.

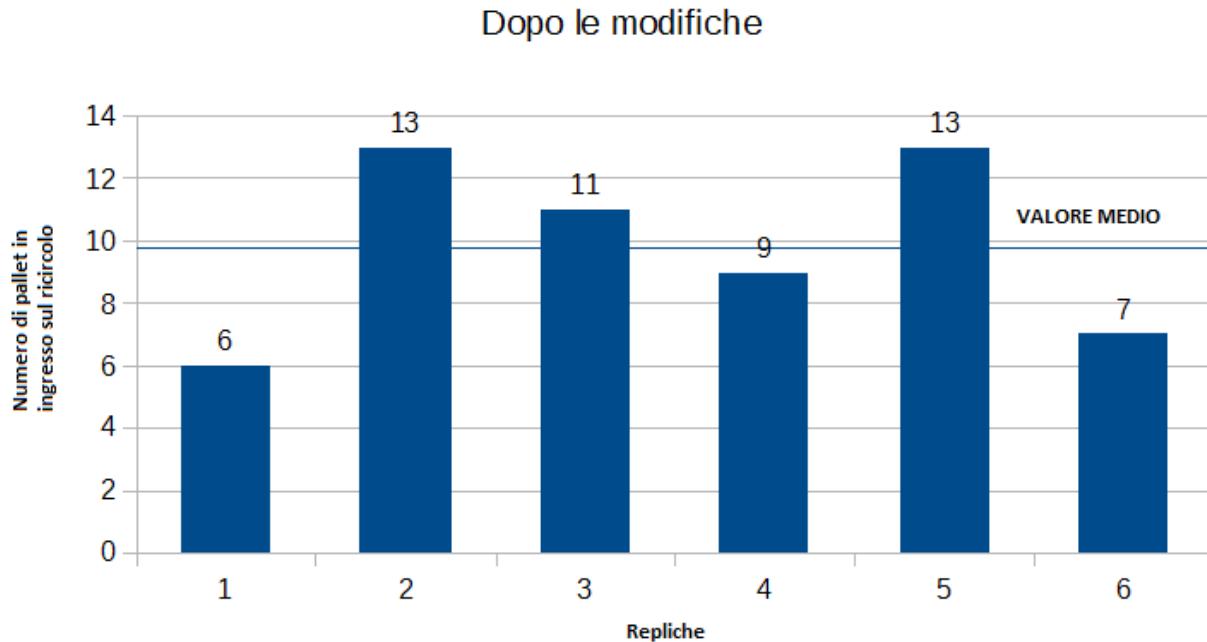


Figura 5.8: Numero di pallet in ingresso nella zona di ricircolo nell'unità di tempo (5 min), dopo le modifiche alle logiche di sistema.

Si osserva che in media entravano all'interno del ricircolo e poi di conseguenza nel magazzino circa 7 pallet ogni 5 minuti, il che significa che in un'ora il sistema automatico smaltiva una coda in ingresso di circa 84 pallet.

A seguito delle modifiche alle logiche del software eseguite dal programmatore, in media i pallet in ingresso nell'unità di tempo risultano essere 9 e quindi 108 nell'arco temporale di un ora.

Il sistema è in grado di smaltire con la nuova configurazione delle logiche una coda di 24 pallet/h in più rispetto alla situazione precedente, comportando un incremento di circa il 20 per cento rispetto alle prestazioni precedenti.

I pallet scaricati dai camion trascorrono molto meno tempo nell'area di accettazione e vengono immagazzinati più velocemente.

Possiamo sintetizzare elencando i principali benefici ottenuti:

- Diminuzione dei tempi di attesa del pallet sulle ribalte in ingresso;
- Aumento dei pallet in uscita verso le stazioni di depalletizzazione.

Questa situazione comporta che la zona di ricircolo si riempia più frequentemente e con più rapidità durante l'arco della giornata, ciò significa che vengono processati un maggior numero di pallet senza però procurare intasamento del ricircolo. Nel momento in cui sono presenti molti pallet sul ricircolo gli ingressi diminuiscono favorendo il rapido smistamento delle UdC verso le zone a cui sono destinate.

Analizzando la situazione dei pallet in uscita e quindi il flusso diretto verso la navetta e verso le stazioni di depalletizzazione si è notato come non ci siano state variazioni considerevoli, il numero dei pallet processati dagli addetti si è mantenuto costante anche dopo le modifiche al software, infatti spesso le isole di depalletizzazione non sono sfruttate al massimo delle loro potenzialità. La maggior parte delle volte un addetto deve gestire più stazioni e in alcuni casi, per evitare lo spostamento degli operatori, una delle quattro postazioni di lavoro viene chiusa, rappresentando così un collo di bottiglia per l'impianto automatico.

Valutare e analizzare con precisione i vantaggi ottenuti in termini di numeri e di dati sperimentali, ricavati attraverso misure di prestazione dell'impianto, risulta essere un'operazione molto complessa, poiché le variabili in input e in output del sistema sono molte e non sono di semplice lettura.

Ulteriori difficoltà in fase di valutazione sono date dal fatto che in diversi momenti della giornata gli obiettivi risultano essere variabili a seconda delle necessità richieste in entrata e in uscita.

Al fine di ottenere un'elevata efficienza dell'impianto la gestione del software deve essere ottimizzata in ogni momento, la difficoltà in questo caso è rappresentata dalla necessità di formulare logiche di gestione che funzionino sia nel caso in cui ho un picco di ingressi di pallet in entrata, a causa dell'arrivo di più camion alle ribalte, sia nel caso in cui devo smaltire una lista ordini dall'elevato numero di righe, alla quale dovrò rispondere prontamente facendo uscire dal magazzino il maggior numero di pallet nell'unità di tempo.

Risulta in generale complesso effettuare una valutazione in termini economici di quanto descritto nei punti precedenti.

È tuttavia possibile, in ottica futura, effettuare un controllo statistico acquisendo dei dati, come ad esempio il numero di pallet in ingresso nel ricircolo (questa operazione non risulta molto complicata, poiché si tratta solo di applicare un contatore alla fotocellula già presente in quella posizione), monitorando particolari momenti della giornata, del mese o dell'anno in cui avrò delle situazioni di lavoro simili.

Bibliografia:

Dallari F., Marchet G. e Melacini M., (2005) “*Automated Materials Handling Systems: a Way to Increase Efficiency of Distribution Networks ?*”, 18th International Conference on Production Research, Salerno.

Dallari, F., Marchet, G., Melacini, M., (2009). “*Design of order picking system*”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 42 (1-2), 1-12.

de Koster, R., Le-Duc, T., Roodbergen, K.J., (2007). “*Design and control of warehouse order picking: a literature review*”. European Journal of Operational Research, 182 (2), 481-501.

Ekren B.Y. e Heragu S.S., (2009) “*Simulation Based Regression Analysis for Rack Configuration of Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems*”, International Journal of Production Research, vol. 48, n° 21, pp. 6257-6274.

Ekren B.Y., Heragu S.S., Krishnamurthy A. e Malmborg C.J., (2010) “*Simulation Based Experimental Design to Identify Factors Affecting Performance of AVS/RS*”, Computers & Industrial Engineering 58, pp. 175-185.

Fukunari M. e Malmborg C.J., (2009) “*A network approach for evaluation of performance measures in autonomous vehicle storage and retrieval systems*”, European Journal of Operational Research 193, pp. 152-167.

Kuo P.H., Krishnamurthy A. e Malmborg C.J., (2007) “*Design Models for Unit Load Storage and Retrieval Systems Using Autonomous Vehicle Technology and Resource Conserving Storage and Dwell Point Policies*”, Applied Mathematical Modelling 31, pp. 2332-2346.

Kuo, P. H., Krishnamurthy, A. e Malmborg, C. J. (2008) “*Performance Modelling of Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems Using Class-Based Storage Policies*”, International Journal of Computer Applications in Technology 31, pp. 238-248.

Malmborg C.J., (2002) “*Conceptualizing Tools for Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems*”, International Journal of Production Research, vol. 40, n°8, pp. 1807-1822.

Bibliografia:

Malmborg C.J., (2003) “*Interleaving Dynamics in Autonomous Vehicle Storage and Retrieval Systems*”, International Journal of Production Research, vol. 41, nº5, pp. 1057-1069.

Marchet, G., Melacini, M., Perotti, S., Tappia, E., (2011). “*Analytical model to estimate performances of autonomous vehicle storage and retrieval systems for product totes*”, International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543.2011.639815.

Yu, M., de Koster, R., (2009). “*The impact of order batching and picking area zoning on order picking system performance*”. European Journal of Operational Research, 192 (2), 480-490.