

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Ottimizzazione dei processi logistici: l'adozione di AMR
per un nuovo approccio al prelievo e deposito



**Politecnico
di Torino**

Relatore

Erica Pastore

Arianna Alfieri

Candidato

Antonio Cossu

Anno Accademico 2023/2024

INDICE

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1 – IL LAYOUT	3
1.1 TIPOLOGIE.....	3
1.1.1 LAYOUT DI PRODOTTO	3
1.1.2 LAYOUT PER PROCESSO	4
1.1.3 LAYOUT A ISOLE	6
1.1.4 LAYOUT A PUNTO FISSO	7
1.2 PROGETTO DI LAYOUT	8
1.3 DIAGRAMMA P – Q	10
1.4 ANALISI DEL FLUSSO DEI MATERIALI	11
1.5 RELAZIONI TRA ATTIVITÀ.....	11
1.6 SPAZIO E LAYOUT FINALE	12
CAPITOLO 2 – MAGAZZINO	14
2.1 SCOPO	15
2.2 BENEFICI.....	16
2.3 TIPOLOGIA MAGAZZINO	17
2.4 GESTIONE DEI MAGAZZINI.....	19
2.5 LAYOUT DI MAGAZZINO	21
2.5.1 AREA INBOUND	21
2.5.2 AREA STOCK.....	22
2.5.3 AREA OUTBOUND.....	23
2.6 INDICI DI PERFORMANCE	23
2.7 ATTREZZATURE DI STOCCAGGIO	25
2.7.1 CATASTA	25
2.7.2 SCAFFALATURE A RIPIANI.....	25

2.7.3 SCFFALATURE PASSANTI	26
2.7.4 SCAFFALATURE DINAMICHE	27
2.7.5 SCAFFALATURE PORTA BOX	27
2.7.6 MAGAZZINI AUTOMATIZZATI	27
2.7.7 SCAFFALATURE COMPATTABILI	28
2.7.8 CAROSELLO	28
2.7.9 CANTILEVER.....	28
2.8 MEZZI DI MOVIMENTAZIONE	28
2.8.1 TRANSPALLET.....	29
2.8.2 CARRELLO CON FORCHE A SBALZO	29
2.8.3 CARRELLO A FORCHE CON MONTANTI RETRATTILI.....	30
2.8.4 CARRELLO ELEVATORE LATERALE	30
2.8.5 CARRELLI A GRANDE ALTEZZA	30
2.8.6 CARRELLI COMMISSIONATORI	31
CAPITOLO 3 – CASO DI STUDIO	32
3.1 AS IS.....	32
3.2 TO BE.....	36
3.3 CREAZIONE DEL MODELLO	40
3.3.1 LAYOUT AS IS.....	40
3.3.2 LAYOUT TO BE	42
3.3.3 ANALISI ATTIVITÀ AS IS.....	45
3.3.4 ANALISI ATTIVITÀ TO BE	46
3.4 KPI.....	52
CONCLUSIONE	55
INDICE FIGURE E TABELLE	57
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	58

INTRODUZIONE

L'evoluzione delle dinamiche di mercato e l'esigenza crescente di rispondere con prontezza e flessibilità alle richieste dei consumatori hanno posto le basi per una trasformazione radicale nelle strategie di gestione della supply chain, in particolare nell'ambito della logistica di magazzino. In questo contesto, l'adozione di tecnologie innovative emerge come un imperativo strategico per le aziende che aspirano a mantenere e incrementare la propria competitività sul mercato. Il presente lavoro si propone di esaminare in profondità l'impatto dell'automazione, con un focus specifico sull'utilizzo degli Autonomous Mobile Robots (AMR) nella gestione dei processi di prelievo e deposito in un magazzino industriale. Attraverso un'analisi comparativa tra un modello operativo tradizionale, definito AS IS, e un modello innovativo automatizzato, denominato TO BE, questo studio mira a fornire una valutazione dettagliata delle potenzialità offerte dall'automazione in termini di efficienza operativa, ottimizzazione dello spazio, gestione della forza lavoro e produttività.

La scelta di focalizzare l'attenzione sugli AMR deriva dalla loro capacità di trasformare le operazioni di magazzino, grazie alla loro flessibilità operativa, precisione e autonomia. Questi sistemi robotici, infatti, possono navigare in modo indipendente all'interno dell'ambiente di magazzino, eseguendo compiti di movimentazione merci che tradizionalmente richiedono l'intervento umano. L'integrazione degli AMR nel contesto logistico si presenta come una soluzione promettente per affrontare le sfide legate alla gestione degli spazi di stoccaggio e all'efficienza dei processi logistici, contribuendo significativamente alla riduzione dei tempi di ciclo e all'incremento della capacità di risposta dell'azienda.

La metodologia adottata per l'analisi prevede un approccio quantitativo, basato sull'utilizzo di indicatori chiave di performance (KPI), al fine di misurare e confrontare l'efficacia dei due modelli operativi in esame. Attraverso l'elaborazione di una serie di scenari operativi simulati, il lavoro intende valutare l'impatto dell'automazione sui principali aspetti della gestione del magazzino, quali il volume di stoccaggio, il coefficiente di superficie, la produttività e la dimensione della forza lavoro richiesta. L'obiettivo è di fornire un quadro chiaro e dettagliato delle potenzialità e delle sfide associate all'adozione di tecnologie automatizzate, offrendo spunti di riflessione per gli operatori del settore e indicazioni strategiche per le aziende che intendono intraprendere un percorso di modernizzazione delle proprie infrastrutture logistiche.

In conclusione, il presente lavoro si propone di contribuire al dibattito sull'innovazione tecnologica in ambito logistico, evidenziando come l'introduzione degli AMR possa rappresentare una leva strategica per l'ottimizzazione dei processi di magazzino e per il raggiungimento di un vantaggio competitivo sostenibile nel tempo. La ricerca mira, dunque, a offrire una panoramica comprensiva delle

implicazioni dell'automazione per la gestione della supply chain, delineando prospettive future e possibili percorsi evolutivi per le aziende che operano nel settore.

CAPITOLO 1 – IL LAYOUT

Il layout consiste nella disposizione delle attrezzature industriali, inclusi i macchinari, i servizi accessori e la manodopera, inseriti nella struttura più adatta al tipo di sistema produttivo.

Il Bureau International du Travail (B.I.T.) afferma che “per layout di una fabbrica, di uno stabilimento, di un'area di lavoro si intende la dislocazione dei reparti o delle officine nell'ambito della fabbrica, e delle macchine, dei posti di lavoro e dei depositi nelle aree lavorative, inclusi, ove sia il caso, gli uffici ed i servizi aziendali relativi”.

L'aspetto cruciale di questa progettazione risiede nella sua capacità di influenzare direttamente l'efficienza operativa, la sicurezza sul lavoro e la produttività complessiva.

Affrontare lo studio del plant layout significa quindi intraprendere un percorso volto a massimizzare l'armonia e l'efficacia all'interno dell'ambiente produttivo. Gli obiettivi principali di questa disciplina includono la riduzione dei tempi di attraversamento dei materiali, la minimizzazione dei costi di movimentazione e la promozione di un utilizzo dello spazio che sia al contempo efficiente e flessibile. Importante è anche la considerazione del benessere dei lavoratori, per cui un layout ben pensato deve garantire condizioni di lavoro sicure e piacevoli.

La definizione del B.I.T. pone l'accento sulla complessità e sull'importanza strategica della disposizione degli impianti, sottolineando come un approccio accurato e ben pianificato alla progettazione del layout possa apportare benefici tangibili in termini di efficienza produttiva e di adattabilità ai cambiamenti futuri.

1.1 TIPOLOGIE

La scelta del layout ideale per un impianto produttivo è un processo che riflette la diversità e la complessità delle esigenze operative. Ogni tipologia di layout, con le sue caratteristiche distintive, si presta a soddisfare specifici requisiti produttivi, bilanciando efficacemente l'efficienza con la flessibilità.

1.1.1 LAYOUT DI PRODOTTO

La produzione in serie si caratterizza per l'alta quantità di output e la limitata diversità di prodotti, una scelta dettata dall'obiettivo di minimizzare i costi associati a macchinari e impianti specifici per ciascun articolo. Questo approccio è evidente in settori come quello automobilistico ed elettronico, dove il processo produttivo segue un flusso lineare, standardizzato e inflessibile, adatto alla fabbricazione di prodotti uniformi senza necessità di frequenti cambiamenti di configurazione delle macchine.

La fase di progettazione dell'impianto assume un ruolo critico, data l'entità degli investimenti in attrezzature e la necessità di garantire volumi di produzione elevati entro tempi definiti. Il layout, denominato "in linea" o "per prodotto", rispecchia fedelmente la sequenza delle fasi produttive, facilitando il trasferimento dei semilavorati attraverso le varie fasi.

È fondamentale che le stazioni di lavoro siano organizzate in modo da bilanciare i carichi di lavoro, evitando sia i colli di bottiglia, ovvero le stazioni che tendono a saturarsi per prime, sia l'inefficienza nelle stazioni meno sollecitate. L'obiettivo è massimizzare l'efficienza e contenere i costi, riducendo al minimo l'inventario di lavorazione, o WIP (Work In Progress), e calcolando facilmente la capacità produttiva in base alla cadenza di produzione e alla disponibilità dell'impianto, escludendo i tempi di manutenzione.

Questi impianti si avvalgono di macchinari altamente specializzati e sistemi di trasporto automatizzati per mantenere un flusso produttivo costante. I punti di stoccaggio si trovano principalmente all'inizio, come riserva per la prima stazione, e alla fine del processo, per i prodotti finiti in attesa di consegna.

In un ambiente così automatizzato, il ruolo della manodopera è prevalentemente di supporto, riducendo la necessità di competenze specializzate. Questo può portare a una ridotta motivazione del personale, che si trova privo di stimoli e responsabilità dirette nella produzione. Per contrastare questa tendenza, si ricorre a strategie come la job rotation, alternando gli operatori tra diverse funzioni, o il job enrichment, arricchendo il loro ruolo con maggiori responsabilità. L'efficienza di utilizzo di un layout produttivo può raggiungere valori tra l'80% e il 90%.

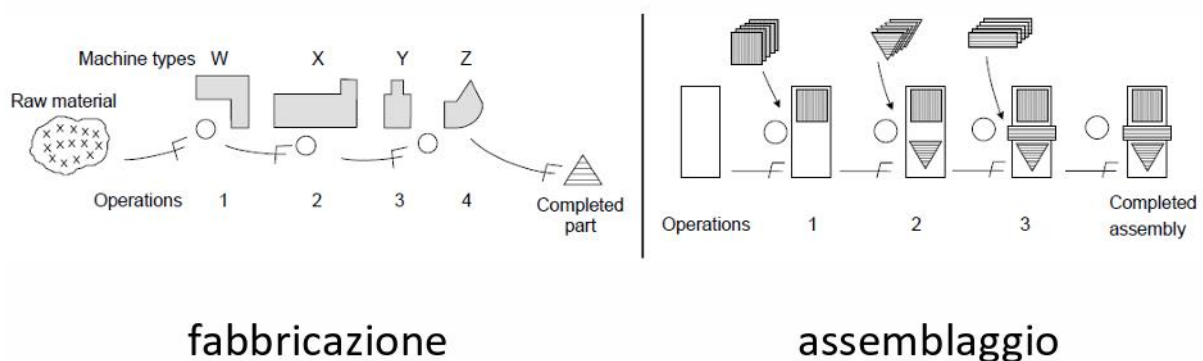


Figura 1- Layout per prodotto.

1.1.2 LAYOUT PER PROCESSO

Il Layout per Processo si focalizza sulla produzione di una vasta gamma di prodotti in volumi contenuti, tipicamente configurati in base alle richieste specifiche dei clienti. Questo metodo è prevalente in settori come l'industria calzaturiera, dove la personalizzazione gioca un ruolo chiave. A differenza della produzione in linea, qui la varietà di articoli porta a un'ampia diversificazione nei cicli produttivi, rendendo

il layout meno intuitivo e lineare, poiché l'organizzazione delle macchine e il flusso dei materiali non riflettono direttamente le sequenze di produzione.

Gli ordini vengono elaborati in piccoli lotti, e per garantire che tutti gli operatori siano a conoscenza della sequenza produttiva specifica di ciascun lotto, questi sono sempre accompagnati da documentazione dettagliata. In situazioni dove la dimensione dei lotti rischia di compromettere la gestione efficace della produzione, si ricorre alla suddivisione in lotti più piccoli (lot splitting), facilitando così le operazioni e il trasporto dei prodotti all'interno dell'impianto, nonostante ciò possa generare un certo grado di sovrapposizione.

Nel Layout per Processo, le macchine con funzionalità e tecnologie simili vengono raggruppate, creando unità specializzate. Questa configurazione, sebbene possa risultare più ingombrante, è pensata per ottimizzare la movimentazione dei lotti tra le diverse aree. Gli investimenti si concentrano su macchinari universali, versatili e adattabili a vari tipi di produzione, mentre la forza lavoro è altamente qualificata e specializzata, con un ampio grado di job enlargement, richiedendo a ciascun operatore la competenza su diversi codici prodotto e su una varietà di attività.

L'obiettivo principale di questa modalità produttiva è minimizzare i costi e i tempi di setup necessari per adeguare le macchine alla fabbricazione di prodotti costantemente diversi. Nel contesto del Layout per Processo, il lead time è determinato dalla somma di quattro componenti temporali: il tempo di attesa, il tempo di attrezzaggio, il tempo di lavorazione e il tempo di movimentazione. Un indicatore chiave dell'efficienza in questo tipo di produzione è il rapporto tra il Value Add Time e il Total Time, che misura il tempo medio effettivo di esecuzione delle operazioni rispetto al tempo totale di passaggio del lotto. Nonostante il tasso di utilizzo delle macchine tenda a essere più basso (circa il 40%), la priorità in questo layout resta la riduzione dei costi di setup, al fine di adattare agilmente l'impianto alle esigenze di produzione di ogni nuovo codice prodotto.

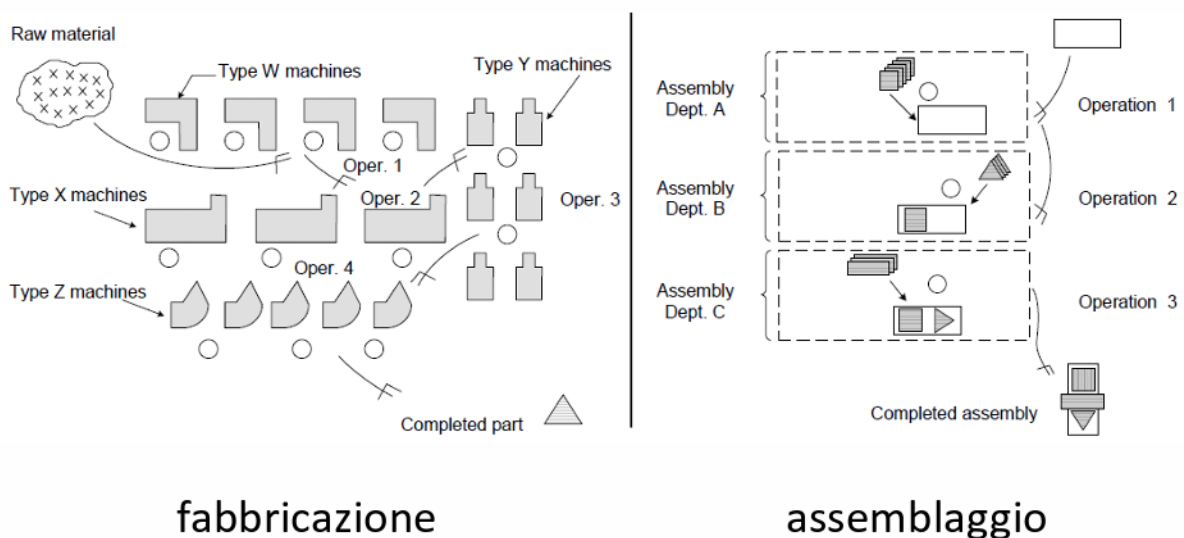


Figura 2 - Layout per processo.

1.1.3 LAYOUT A ISOLE

La produzione a isole si posiziona come soluzione intermedia, combinando l'alta produttività tipica della produzione in linea con la versatilità caratteristica della produzione per reparti. Questo approccio si basa sulla Group Technology¹, che punta a categorizzare i prodotti in famiglie basate su caratteristiche e processi simili, per facilitarne la produzione congiunta.

Il processo di standardizzazione si articola in tre fasi principali:

1. Razionalizzazione del prodotto: analisi e identificazione di specifiche comuni tra diversi prodotti;
2. Razionalizzazione del ciclo tecnologico: esame delle fasi produttive per scovare similitudini;
3. Razionalizzazione del processo e del layout: verifica delle attrezzature necessarie, raggruppando i prodotti che ne condividono l'uso.

Ogni isola produttiva è concepita come un'entità autonoma, organizzata attorno a un singolo prodotto o a una famiglia di prodotti affini, richiedendo una profonda comprensione dei dettagli del processo produttivo, inclusi il numero e il tipo di macchine, le modifiche necessarie, i metodi di movimentazione e il numero di operatori coinvolti.

La disposizione delle macchine all'interno dell'isola segue criteri ben definiti, come il metodo di Hollier, che si basa sul calcolo del rapporto tra i pezzi in uscita e quelli in entrata per ogni macchina, disponendole in ordine decrescente di tale rapporto. Si considerano anche fattori come l'importanza del capitale investito nelle macchine o l'efficienza complessiva del processo.

La configurazione dell'isola può variare: in linea, con tutte le macchine disposte frontalmente agli operatori; a U, con gli operatori circondati dai macchinari; o in disposizione rettilinea, con due file parallele di macchine e operatori al centro. Le isole, soprattutto quelle a U, offrono diversi vantaggi, come la continuità del flusso produttivo, che riduce il Work In Progress (WIP), la facilità di adeguamento del takt time, e una maggiore efficienza spaziale grazie all'automazione dei sistemi di trasporto. Inoltre, questo layout permette un controllo più accurato della produzione.

Il tasso di utilizzo delle macchine nelle isole produttive si colloca in una fascia intermedia (60%-70%), rappresentando un equilibrio tra le esigenze di produttività e flessibilità.

¹ Dal testo "Impianti Industriali. Criteri di scelta, progettazione e realizzazione", Pareschi A.

1.1.4 LAYOUT A PUNTO FISSO

La produzione su misura, nota come One of a Kind Production (OKP), si concentra sulla realizzazione di singoli pezzi o piccole serie, caratterizzati da un'elevata personalizzazione. Questo modello è prevalente in settori che realizzano prodotti unici o altamente specializzati, operando secondo logiche di Make to Order o Engineer to Order.

La sfida di sviluppare prodotti da zero implica una costante revisione dei progetti, rendendo complessa la programmazione delle fasi produttive a causa della diversità delle caratteristiche dei prodotti. A differenza della produzione standardizzata, l'OKP adotta un approccio sintetico, dove diverse fasi produttive convergono verso l'assemblaggio o la realizzazione finale del prodotto.

Il layout adottato in questi contesti è detto "a postazione fissa", dove diversi reparti si organizzano intorno all'area centrale di assemblaggio, cuore del processo produttivo. Questa disposizione risulta ideale per prodotti di grandi dimensioni o pesanti, che richiedono tecnologie specifiche e strutture ad hoc. Di conseguenza, l'investimento si orienta verso macchinari versatili e facilmente spostabili, adatti a diverse lavorazioni, e verso personale altamente qualificato e versatile, capace di adattarsi a molteplici esigenze produttive, promuovendo così un ampliamento delle competenze (job enlargement).

Il sistema prevede anche diverse aree di stoccaggio, situate in prossimità dell'area di assemblaggio finale, determinando un elevato livello di Work In Progress (WIP). Due elementi critici in questo tipo di produzione sono lo spazio, fondamentale per la movimentazione e lo stoccaggio dei prodotti, e la comunicazione, essenziale per garantire l'efficienza dei processi in impianti complessi e interconnessi.

La produzione su misura si avvale quindi di un layout estremamente adattabile, pronto a rispondere alle continue variazioni nella progettazione dei prodotti. Calcolare il coefficiente di utilizzo in tali contesti è complesso a causa dell'unicità e della variabilità delle specifiche di ogni commessa.

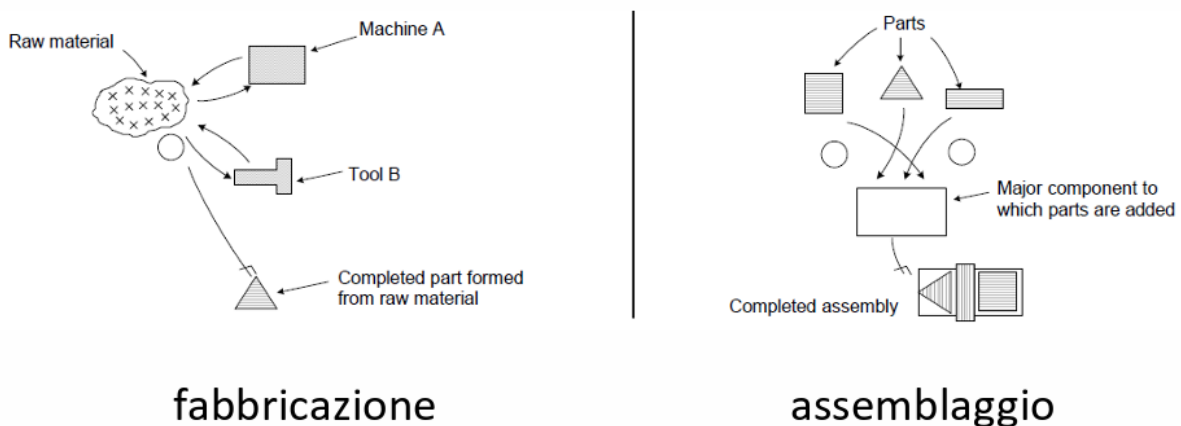


Figura 3 - Layout a punto fisso.

1.2 PROGETTO DI LAYOUT

Il progetto di layout è definito come il processo attraverso il quale si definisce la configurazione dell'area produttiva, partendo dalla selezione della sua ubicazione fino alla disposizione ottimale dei macchinari e dei servizi ausiliari. Questa pianificazione mira a organizzare in maniera efficiente le risorse disponibili per il processo produttivo, al fine di massimizzare l'efficienza degli impianti e del personale, ridurre i livelli di inventario, eliminare gli sprechi di spazio e ridurre i tempi di movimentazione dei materiali. L'obiettivo principale di questa attività è accrescere la produttività complessiva dello stabilimento e diminuire i costi associati alla produzione.

La progettazione del layout si articola su cinque livelli gerarchici, che vanno dalla macroscelta geografica fino alla dettagliata organizzazione delle singole postazioni di lavoro:

1. **Livello Globale:** Questa fase implica la scelta dell'ubicazione geografica dell'impianto, valutando tra l'opzione di un nuovo sito o l'integrazione in una struttura esistente. La decisione è guidata da fattori come la disponibilità di risorse, la prossimità al mercato target, le infrastrutture di trasporto, e considerazioni politiche, economiche e ambientali.
2. **Livello Supra:** Si concentra sulla creazione della mappa complessiva del sito, delineando l'organizzazione spaziale dell'intera area geografica dell'impianto.
3. **Livello Macro:** In questa fase si procede con la definizione di un layout preliminare, stabilendo la disposizione delle diverse aree operative all'interno dell'impianto.
4. **Livello Micro:** Questo livello dettaglia ulteriormente l'organizzazione interna, specificando la collocazione dei servizi, la disposizione delle stazioni di lavoro e l'allocazione delle risorse.
5. **Livello Sub-micro:** Si focalizza sull'organizzazione specifica di ogni stazione di lavoro, definendo la posizione esatta e il numero di macchinari e le risorse umane necessarie.

Il primo livello prevede la valutazione dell'ubicazione migliore per l'impianto tra varie alternative; diversi fattori influenzano questa scelta:

- **Reperimento delle risorse:** la facile reperibilità delle materie prima rappresenta un vantaggio per l'azienda, come la presenza nella zona geografica di manodopera qualificata e in line con i costi previsti;
- **Mercato:** è conveniente posizionare l'impianto dove vi è maggiore concentrazione di clienti per l'azienda;
- **Trasporto:** viene verificata la presenza di infrastrutture ed i relativi costi di trasporto;
- **Fattori politici, economici e ambientali;**

La determinazione dell'ubicazione riveste un ruolo fondamentale nel processo di layout e si avvale sia di metodologie qualitative, come il rating pesato, sia di approcci quantitativi che considerano i costi di

investimento, operativi o di trasporto. Una volta scelta l'ubicazione ideale, l'analisi si sviluppa attraverso i livelli successivi.

Per la progettazione interna dell'impianto, è essenziale valutare attentamente cinque aspetti chiave:

- Prodotto: Ciò include l'intera gamma di articoli prodotti dall'azienda per rispondere alle esigenze del mercato, abbracciando tutte le materie prime e i semilavorati utilizzati per la fabbricazione del prodotto finale. Ogni articolo prodotto viene distintamente identificato tramite un codice univoco.
- Quantità: Rappresenta il volume totale di produzione, comprendendo sia i prodotti finiti sia i materiali elaborati o utilizzati durante il processo produttivo. Questo parametro può essere quantificato attraverso misure fisiche (come peso o lunghezza) o in termini monetari, correlati al volume di produzione o alle vendite.
- Ciclo Tecnologico: Indica l'insieme sequenziale di operazioni direttamente implicate nella produzione dell'articolo, tipicamente documentate in schede tecniche o di lavorazione.
- Servizi Ausiliari: Includono tutte quelle attività che, pur non partecipando direttamente alla produzione, ne facilitano e ne ottimizzano il processo. Questa categoria comprende servizi come la manutenzione, la gestione dei magazzini e le aree dedicate al personale.
- Tempo: Elemento cruciale per la sequenziazione delle operazioni, il tempo influisce sull'equilibrio tra le lavorazioni, l'impiego delle macchine e l'allocazione della forza lavoro. È fondamentale, quindi, definire chiaramente le tempistiche, stabilendo scadenze precise per la consegna dei prodotti e la durata complessiva del ciclo produttivo.

Questi cinque pilastri forniscono le basi per un layout efficiente, sviluppando diverse fasi operative

1.3 DIAGRAMMA P – Q

L'approccio alla progettazione del layout industriale viene guidato dall'interpretazione del diagramma P-Q, il quale offre un insight fondamentale sul tipo di produzione prevalente: se orientata verso volumi elevati con limitata varietà, tipica della produzione di massa, o incline a prodotti diversificati in quantità ridotte, caratteristica della produzione su commessa. Tale distinzione impone la scelta di layout specifici: per la produzione di massa si predilige un layout incentrato sul prodotto, arricchito da sistemi di automazione; per la produzione su commessa, invece, si adottano layout per reparti o a postazione fissa, caratterizzati da macchinari standard e sistemi di trasporto estremamente versatili.

L'analisi dettagliata della curva P-Q rivela la necessità di adattare il layout alla distribuzione dei prodotti. Una curva tendenzialmente orizzontale suggerisce l'efficacia di un layout universale, capace di gestire l'intera gamma di produzione con un unico sistema di trasporto, data la concentrazione della maggior parte dei prodotti nella parte centrale della curva. Invece, una curva con un'inclinazione marcata implica la necessità di sviluppare layout distinti per differenti segmenti di prodotti, accompagnati da sistemi di trasporto specifici.

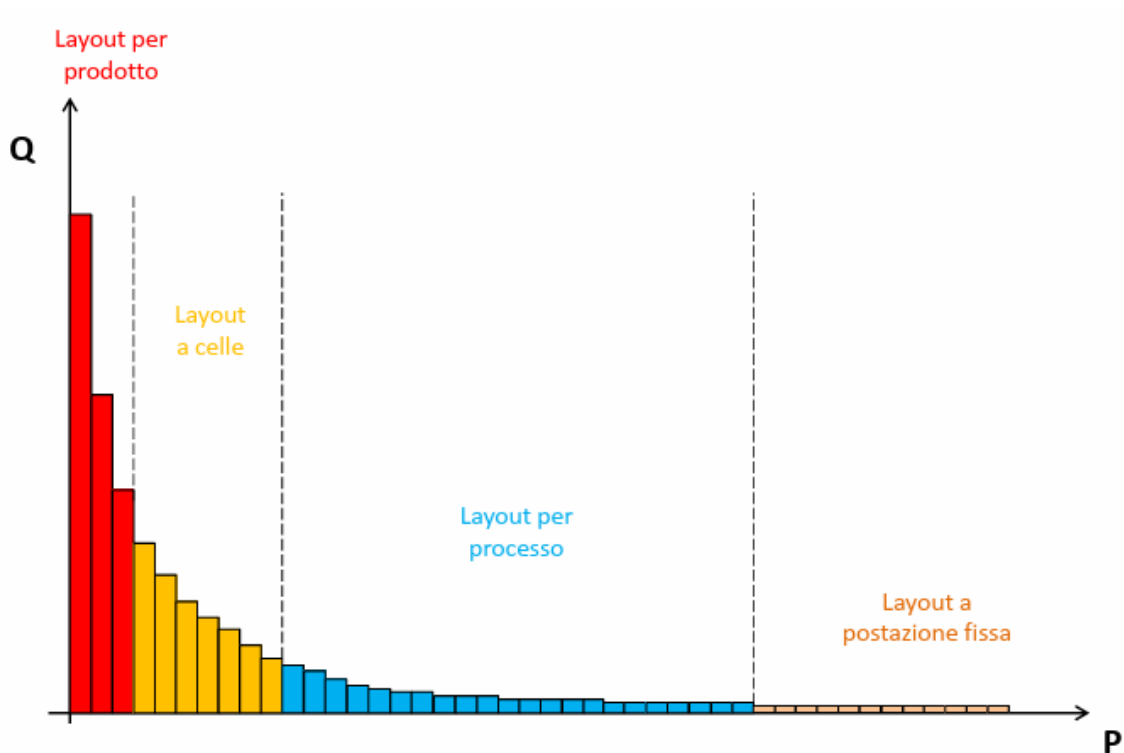


Figura 1.4 – Diagramma P – Q

1.4 ANALISI DEL FLUSSO DEI MATERIALI

L'analisi del flusso dei materiali è cruciale per determinare le sequenze più efficienti di movimentazione dei materiali nelle varie fasi del processo produttivo, minimizzando deviazioni, tempi di attesa e movimenti inutili. Esistono vari metodi per esaminare il flusso dei materiali, e questi si collegano direttamente alla natura e alla varietà della produzione indicata dalla curva P-Q. Per prodotti standardizzati e in quantità limitata, il metodo più indicato è l'utilizzo di un foglio di processo specifico per singolo prodotto, che dettaglia le operazioni per quell'articolo. Quando invece i prodotti sono numerosi ma simili tra loro, si preferisce raggrupparli in famiglie e utilizzare un foglio operativo che copra l'intera gamma, facilitando la gestione dei flussi per gruppi di prodotti affini. In contesti dove la varietà di prodotti è alta e c'è una forte differenziazione tra essi, il from-to chart, o foglio origine-destinazione, diventa lo strumento più adeguato per mappare in modo efficace i percorsi dei materiali da un'operazione all'altra.

Un fattore da considerare è l'intensità del flusso tra un'operazione e l'altra: essa, infatti, indica la grandezza dei movimenti di materiali tra le varie stazioni di lavoro e misura l'importanza di ogni tracciato.

Accade spesso che i materiali trasportati presentino grandezze differenti e risulti quindi difficile dare una stima della quantità movimentata; in questi casi per valutare l'intensità dei flussi si ricorre al cosiddetto conteggio dei mag: si tratta di un'unità di misura standard atta a quantificare la trasportabilità dei materiali ad omogeneizzare i flussi di grandezze eterogenee.

Il mag di fatto è considerato come un pezzo di materiale generico che può essere tenuto in mano con facilità, è solido, ha una forma compatta, è poco predisposto al danneggiamento ed è pulito.

1.5 RELAZIONI TRA ATTIVITÀ

Come evidenziato in precedenza, la definizione della sequenza operativa e l'organizzazione delle attrezzature si fondano sull'analisi del flusso dei materiali. Tuttavia, questo approccio non garantisce sempre la massima efficienza e sicurezza. È essenziale includere nell'analisi le attività di servizio che supportano il ciclo tecnologico principale.

L'esame delle interazioni tra le varie attività mira a integrare queste funzioni secondarie nel flusso principale dei materiali, basandosi su vari fattori come la necessità di comunicazione tra le postazioni, la supervisione delle operazioni, l'utilizzo condiviso di attrezzature o personale, e la gestione di eventuali rischi o inquinamenti.

Per condurre questa analisi in modo efficace, si impiega la tabella dei rapporti di vicinanza, che evidenzia le connessioni e la loro intensità tra le diverse postazioni lavorative, valutando l'importanza delle interazioni tra le varie coppie di attività e fornendo le motivazioni pertinenti. La procedura per compilare questa tabella include:

- Elencare tutte le attività aziendali, raggruppando quelle simili o gestite dallo stesso team, con l'obiettivo di limitare l'elenco a non più di cinquanta voci;
- Distinguere tra operazioni produttive e attività ausiliarie;
- Definire le relazioni tra ciascuna coppia di attività, sfruttando la conoscenza degli addetti ai lavori e i dati raccolti, analogamente all'analisi del flusso dei materiali;
- Completare la tabella con le informazioni raccolte.

Successivamente, si realizza un diagramma di flusso che visualizza i percorsi analizzati e le relazioni tra le attività, indicando la disposizione delle postazioni lavorative e i movimenti dei materiali. È fondamentale adottare una simbologia chiara e universale per rappresentare ogni attività, facilitando la lettura e la comprensione del diagramma.

Attraverso l'analisi dei flussi e l'utilizzo della tabella dei rapporti, si può elaborare un diagramma di flusso unificato che includa anche i percorsi verso le stazioni di servizio. In contesti con più prodotti, si ha la possibilità di sviluppare un diagramma specifico per ciascun articolo o di unire i flussi di tutti i prodotti in un'unica rappresentazione. Quest'ultimo approccio è generalmente preferibile, poiché consente di aggregare e confrontare i dati di tutti i prodotti nella tabella dei rapporti, risultando nella creazione di un singolo diagramma di flusso comprensivo.

1.6 SPAZIO E LAYOUT FINALE

Dopo aver delineato la mappa dei flussi e delle attività, si procede all'allocazione dello spazio adeguato per ciascuna attività. La determinazione dello spazio necessario può avvalersi di diverse metodologie, tra cui:

- **Calcolo Diretto:** Questo approccio implica la misurazione dello spazio occupato da macchinari, personale, aree di stoccaggio e altre attrezzature, una volta stabilito il numero di elementi richiesti. È considerato il metodo più preciso e comunemente adottato.
- **Utilizzo di Standard Industriali:** Si fa riferimento a dimensioni standardizzate pubblicate in tabelle ufficiali, basate su esperienze consolidate nell'industria.
- **Adattamento di Layout Preesistenti:** Modifica di configurazioni già esistenti per soddisfare le necessità delle nuove stazioni lavorative.
- **Suddivisione dello Spazio:** Questa tecnica prevede la divisione dell'area disponibile in moduli predisposti per accogliere le varie attrezzature.

Per effettuare una stima accurata dello spazio necessario, è utile disporre di un inventario dettagliato delle attrezzature che saranno parte integrante del nuovo layout, includendo le specifiche fisiche di ciascun

elemento. La compilazione di questo inventario facilita anche la categorizzazione delle attrezzature per area funzionale.

Nel metodo del calcolo diretto, si calcola l'area occupata da ogni macchinario o attrezzatura, moltiplicandola per il numero di unità previste nel progetto. A questo risultato si aggiungono le aree non direttamente assegnabili a specifici elementi. La determinazione del numero di macchine e attrezzature necessarie deriva da un'analisi dettagliata del rapporto tra le necessità produttive e le capacità delle singole unità.

Per ogni attività produttiva vengono poi determinati gli spazi e le condizioni di lavoro richiesti affinché le lavorazioni avvengano senza ostacoli, sempre in base a prodotto, volumi, costi e tempo; nel calcolo dello spazio richiesto vengono considerate anche tutte le attività di servizio.

Il risultato di quest'analisi, adattata al diagramma dei rapporti tra le attività, ricavato nella fase precedente, è il diagramma del rapporto tra gli spazi che rappresenta un layout allo stato grezzo.

Un problema fondamentale in questa fase è il confronto tra spazio richiesto e spazio disponibile, in quanto deve essere verificata la sufficiente disponibilità di spazio e se esso possa contenere le varie aree di produzione e reparti, in base alla distribuzione fisica del luogo. Se lo spazio dovesse rivelarsi insufficiente, sono possibili diverse alternative per la risoluzione del problema. Una prima possibilità è quella di ridurre lo spazio occupato, definendo il peso e l'importanza delle varie attività, con lo scopo di minimizzare il danno all'attività aziendale.

Nel caso questa possibilità non sia considerabile, si è obbligati ad intervenire sulla progettazione del prodotto, così da semplificarne il progetto ed il ciclo produttivo, o sulla catena di produzione, valutando una redistribuzione della manodopera, come l'inserimento di turni di lavoro, o un ridimensionamento dell'approvvigionamento e dello stoccaggio dei materiali, valutando l'alternativa di esternalizzare la produzione di alcuni elementi o puntando alla riduzione al minimo dello stoccaggio di materiali cosicché lo spazio occupato dai magazzini possa essere utilizzato per la riorganizzazione dei macchinari.

CAPITOLO 2 – MAGAZZINO

Un magazzino funge da nodo critico nella logistica, incaricato di accogliere, conservare e distribuire le merci secondo le esigenze specifiche di produzione o di consegna al cliente finale. Tradizionalmente, il magazzino era percepito meramente come un'area di stoccaggio e transito per i beni, un luogo dove i prodotti dovevano trascorrere il minor tempo possibile, senza aggiungere valore. La principale misura di successo era l'assenza di problemi, e il personale impegnato era spesso poco qualificato e coinvolto, riducendosi a semplici addetti alla movimentazione.

Il riconoscimento dell'importanza della gestione dei magazzini ebbe inizio nel periodo intercorrente tra le due guerre mondiali, spinto da fattori economici e sociali. L'aumento dei diritti e delle condizioni dei lavoratori spinse le aziende a migliorare la sicurezza e le condizioni di lavoro, innalzando di conseguenza il costo della manodopera e costringendo a una maggiore attenzione nell'uso di questa risorsa. Lo sviluppo urbano rese le aree edificabili più scarse e costose, necessitando una maggior efficienza nell'utilizzo dello spazio. Altri fattori, come l'espansione dell'assortimento dei prodotti, l'evoluzione delle tecniche di produzione e distribuzione e una maggiore enfasi sul servizio al cliente, richiesero un'ulteriore spinta verso l'efficienza e la flessibilità dei magazzini.

In questo contesto, un magazzino efficiente divenne essenziale per mantenere la competitività sul mercato, visto che il costo del prodotto è direttamente influenzato dai costi di produzione e distribuzione, entrambi impattati dai costi di stoccaggio.

Oggi, il magazzino è considerato un elemento vitale nella supply chain, avendo un ruolo regolatore nella gestione dei flussi di materiale e dei tempi di attesa lungo la catena logistica. La sua funzione è stata ridefinita, passando da un semplice elemento del sistema logistico a un centro nevralgico, indispensabile per garantire la consegna del prodotto giusto, nel momento e nei costi appropriati. In questa ottica, il magazzino si trasforma da un semplice deposito a una leva di vantaggio competitivo, sia in termini di riduzione dei costi sia di miglioramento del servizio offerto.

Ogni impresa, sia essa industriale o commerciale, necessita di un magazzino. Una gestione efficiente del magazzino fornisce un vantaggio competitivo, migliorando il servizio al cliente e la performance economica dell'azienda. I magazzini che supportano la produzione e quelli dedicati alla distribuzione sono operativamente identici, con differenze che riguardano principalmente la rete logistica, i mercati serviti e i volumi gestiti. Le aziende manifatturiere richiedono tre tipi distinti di magazzino (materie prime, semilavorati, prodotti finiti), mentre le imprese commerciali necessitano di un unico magazzino per i prodotti finiti.

Il magazzino, quindi, si configura come un sistema integrato di aree funzionali dove si svolgono specifiche operazioni. La progettazione e l'organizzazione razionale di queste aree, e la loro integrazione, sono

fondamentali per garantire l'efficienza e l'efficacia del magazzino. Le principali zone includono il ricevimento delle merci, lo stoccaggio, la preparazione degli ordini e la spedizione, la cui importanza e disposizione variano a seconda del tipo di magazzino. Il layout è progettato per minimizzare i costi di movimentazione.

Pertanto, i magazzini meritano un'analisi approfondita che esplori l'organizzazione, la gestione e l'elaborazione dei dati in essi generati e fluiti. Saranno esaminati gli obiettivi, i benefici e i costi associati ai magazzini, le varie tipologie in base alla classificazione, le modalità di stoccaggio, i criteri di progettazione, gli indici di valutazione e i modelli di prelievo dei prodotti.

2.1 SCOPO

Premesso che l'obiettivo centrale di una logistica ottimale è quello di minimizzare le riserve di inventario, diventa indispensabile organizzare e amministrare le scorte essenziali in maniera altamente produttiva ed efficiente. La denominazione "magazzino" trae origine dall'arabo, riferendosi a un'area dedicata alla custodia di beni preziosi, che nell'ambito aziendale simboleggiano il capitale destinato a creare valore una volta immesso sul mercato. La finalità del magazzino, dunque, consiste nel ricevere, immagazzinare e facilitare l'accesso alla merce per il suo impiego successivo, agendo come un punto di interruzione nel flusso fisico dei prodotti. Pertanto, se l'intento generale è quello di abbreviare il periodo di stazionamento dei beni, per chi gestisce il magazzino la priorità diventa quella di ottimizzare questa fase di sosta.

Le dinamiche che modellano l'ambiente operativo di un magazzino sono caratterizzate dalla tensione tra la necessità di mantenere un livello elevato di scorte per garantire la soddisfazione del cliente e l'obiettivo economico di ridurre al minimo tali scorte. Il servizio al cliente si manifesta nella disponibilità dei prodotti in linea con le esigenze dei clienti, pertanto il magazzino mira a velocizzare il passaggio dei prodotti. Per adempiere ai tempi previsti per la consegna, ogni segmento della catena logistica deve rispettare i propri tempi parziali, poiché eventuali ritardi possono generare la necessità di creare scorte di sicurezza e di gestire le operazioni in modalità di emergenza.

In aggiunta, un magazzino deve mirare a questo obiettivo senza perdere di vista il controllo sui costi. Questo target implica una gestione scrupolosa di varie categorie di spese: i costi finanziari derivanti dall'immobilizzazione del capitale, i costi operativi legati alle attività di ricevimento, i costi legati all'occupazione dello spazio e i costi associati alla perdita di valore dei beni immagazzinati a causa di fattori come il deterioramento o l'obsolescenza.

Per valutare il valore dell'inventario immobilizzato, esistono diversi metodi di calcolo, come, il metodo FIFO, che favorisce la vendita dei prodotti in ordine di arrivo, particolarmente utile per beni deperibili o soggetti a rapida obsolescenza;

il metodo LIFO, che prevede la vendita degli ultimi prodotti arrivati per articoli meno influenzati dal tempo;
il calcolo basato sul valore medio degli articoli in magazzino;
o la valutazione al valore attuale, considerando un eventuale incremento del valore commerciale dei beni dal momento dell'immagazzinamento.

Dovendo delineare obiettivi specifici per la gestione di un magazzino, l'attenzione sarà sulle funzioni chiave di ricevimento, stoccaggio e prelievo. Nella fase di ricevimento, l'obiettivo è minimizzare errori di identificazione e i tempi di attesa, ottimizzare l'inserimento dei dati nel sistema gestionale e la distribuzione dei beni. Per lo stoccaggio, è cruciale massimizzare l'uso dello spazio e ridurre la perdita o l'errore di posizionamento dei prodotti, insieme ai tempi dedicati all'inventario. Nel processo di prelievo, l'intento è ridurre gli errori nella selezione dei beni, prevenire danni durante la movimentazione e accelerare l'inserimento dei dati nel sistema.

La decisione di mantenere un inventario può essere influenzata da esigenze tecnologiche, come il tempo di attesa necessario prima che un prodotto possa avanzare nella catena produttiva o essere inviato al cliente; da ragioni commerciali, per prevenire la rottura di stock; o da considerazioni economiche e strategiche, come l'acquisto di grandi volumi di merci a prezzi vantaggiosi. La scelta di creare scorte si basa sulla strategia aziendale e sull'allineamento tra i tempi di servizio al cliente e i cicli produttivi.

2.2 BENEFICI

Come precedentemente evidenziato, l'essenza dell'attività di stoccaggio è quella di garantire la soddisfazione del cliente riducendo al contempo gli oneri finanziari per l'impresa, mantenendo un inventario ottimale per far fronte tempestivamente alle esigenze dei consumatori, scegliendo la locazione più idonea sia in termini di gestione che di spazio occupato. Il Toyota Production System² propugna l'ideale di una gestione imprenditoriale che riesca a operare senza necessità di scorte; questa visione, sebbene teorica, sottolinea l'importanza di monitorare attentamente il livello delle giacenze, riducendole all'essenziale.

Tuttavia, esistono molteplici motivi per cui mantenere un magazzino si rivela vantaggioso per un'azienda:

- Offre una soluzione alla variabilità degli eventi che possono causare interruzioni nella produzione o insoddisfazione del cliente a causa di ritardi nelle consegne;
- Fornisce un tampone contro le oscillazioni di domanda dovute a fattori stagionali, mode o altri elementi imprevedibili, consentendo di soddisfare richieste inattese e quindi di attenuare le discontinuità;

² Dal testo "The Machine That Changed the World" James P. Womack, Daniel T. Jones and Daniel Roos.

- Salvaguarda l'azienda da fornitori inaffidabili nelle consegne e facilita la gestione dell'acquisto di materie prime o prodotti che sono rari o difficili da trovare;
- Consente la creazione di lotti personalizzati per tipo e/o quantità di articolo, ovvero facilita l'assegnazione di piccole quantità da unità di carico più ampie;
- Tutela dalle variazioni di prezzo dei prodotti in magazzino;
- Offre l'opportunità di approvvigionarsi di volumi maggiori di merce, beneficiando così di eventuali sconti per grandi quantità.

2.3 TIPOLOGIA MAGAZZINO

I magazzini possono essere categorizzati secondo diverse variabili, quali la loro suscettibilità agli elementi esterni, lo stadio di elaborazione dei beni stoccati o la natura della tecnologia impiegata negli scaffali. Di conseguenza, si delineano vari criteri di classificazione per i magazzini, tra cui:

- Tipologie di oggetti da stoccare, che includono unità di carico, pacchi e materiali particolari;
- Grado di automazione presente (manuale, semiautomatico, completamente automatizzato);
- Condizione del materiale, che può essere materia prima, semilavorato o prodotto quasi completo, e prodotto finito;
- Livello di tecnologia impiegata negli scaffali (dinamici o statici).

L'espressione "unità di carico", o imballaggio di terzo livello, fa riferimento a contenitori di diverse forme e materiali, riempiti con prodotti destinati alla conservazione, alla manipolazione e all'invio. Questi contenitori possono essere pallet in legno o plastica (dai formati standard come l'Europallet EPAL 800x1200 al "Philips" 1000x1200, fino ai modelli quadrati), gabbie in metallo con o senza ruote, casse in plastica o metallo, e canestri metallici. Una caratteristica comune è la loro capacità di ridursi in volume quando vuoti, attraverso un design che ne permette lo smontaggio o l'impilamento. L'europallet, in particolare, rappresenta la tipologia di unità di carico più prevalente ed è standardizzato secondo le norme ISO, facilitando l'uniformità dei processi e delle pratiche operative. Comunemente noto come "bancale", questo strumento serve come base per il deposito di diversi materiali da immagazzinare o trasportare all'interno del magazzino. In fase di carico su camion, assicura l'ottimizzazione dello spazio grazie alle sue dimensioni standardizzate, consentendo un'organizzazione efficiente degli spazi e una movimentazione agevole, grazie all'altezza dei suoi piedi che ne facilita l'ingresso con il muletto. Le gabbie metalliche sono impiegate soprattutto per componenti meccanici o materiali meno stabili e devono essere progettate per essere facilmente movimentabili con un forklift. A differenza dei pallet, le gabbie presentano la problematica della logistica inversa: il costo di una gabbia vuota è pari a quello di una piena, data l'identica occupazione di spazio. Da qui l'introduzione delle gabbie pieghevoli, che possono essere compattate fino

a ridurre il loro volume originale di un terzo, garantendo così un abbattimento dei costi di trasporto per il rientro. Per quanto concerne canestri e contenitori di plastica, i primi sono spesso adoperati per articoli in vetro per via del loro design più variegato, mentre i secondi sono generalmente destinati a materiali più leggeri.

Gli articoli che non possono essere raggruppati in unità di carico a causa della varietà o della natura, della modalità o della frequenza di movimentazione, vengono posti a magazzino all'interno di colli, ossia box in cartone o termoplastici; questi possono essere disposti in pile senza la necessità di strutture portanti o in scaffali serviti dall'uomo o da mezzi di trasporto quali ad esempio convogliatori. Questa tipologia di organizzazione di magazzino viene utilizzata principalmente nel settore farmaceutico, dove le singole unità sono molto piccole e diventa quindi conveniente raggrupparle in colli per facilitare lo stoccaggio e la successiva spedizione.

Infine, i materiali speciali hanno peso, forma o dimensioni che causano particolari problemi di immagazzinamento; tali materiali sono ad esempio tubi, profilati, barre, rotoli, bobine. Spesso conviene ricorrere allo stoccaggio all'esterno oppure a sistemi legati alla forma geometrica dell'articolo, come i cantilever.

La differenziazione rispetto all'automazione prevede la valutazione del livello di supporto alle attività manuali da parte di sistemi autonomi controllabili tramite circuiti logici o elaboratori, riducendo così la necessità di intervento umano. Si parte da un grado di automazione nulla con il magazzino manuale, in cui la gestione e la movimentazione della merce e la manutenzione vengono effettuate da operatori specializzati; quando solo alcune attività sono svolte in modo automatico da macchine controllate da elaboratori si parla di magazzino semi-automatico; perciò, uomo e macchina lavorano in parallelo all'interno dello stesso spazio. Si definisce, infine, magazzino completamente automatico quello che non implica l'intervento umano in nessuna attività svolta all'interno del magazzino, ovvero azioni di picking, refilling, stoccaggio e pallettizzazione non richiedono la presenza dell'operatore (interviene esclusivamente per la manutenzione).

Un ulteriore criterio che permette di classificare il magazzino è lo stato del materiale; ci sono pertanto depositi per lo stoccaggio di materie prime o parti per realizzare semilavorati o prodotti finiti, magazzini per i semilavorati che si trovano temporaneamente fermi in attesa della lavorazione successiva, magazzini per i prodotti finiti pronti per essere venduti al cliente. Le aree destinate alle materie prime assicurano una riserva di materiali grezzi, quelle dedicate ai semilavorati rappresentano un polmone tra le lavorazioni con cadenze di produzione differenti, mentre quelle contenenti i prodotti finiti sono utili al fine di sopperire ai ritardi della produzione rispetto alla distribuzione e di compensare le diverse entità tra lotti economici di produzione e distribuzione.

Infine, utilizzando come criterio di classificazione il grado di meccanizzazione delle scaffalature, si possono identificare magazzini dinamici o statici. Si può considerare dinamico uno stoccaggio delle merci

in cui il deposito è effettuato in maniera che, sfruttando la gravità o altri meccanismi (come i rulli), i prodotti siano accumulati in unità di carico (scatoloni, casse, pallets...) secondo una sequenza prestabilita.

Le unità di carico entrano da un lato e escono dal lato opposto, sfruttando la gravità e il basamento dello scaffale costituito da rulli. Nei magazzini statici, invece, i materiali sono stoccati su ripiani orizzontali semplici.

Nonostante lo svantaggio del costo iniziale di allestimento, le strutture dinamiche godono di svariati vantaggi: uno, in particolare, è collegato al concetto FIFO (first-in, first-out) per cui la prima merce che entra in magazzino è anche la prima a uscire. Questo è utile soprattutto per tenere sotto controllo i prodotti soggetti a scadenza. Se, ad esempio, nel magazzino vengono stoccati prodotti farmaceutici e questi rimangono in stock oltre alla loro data di scadenza per errori di pick-up, la perdita economica è notevole e facilmente intuibile.

Altri vantaggi relativi all'utilizzo di scaffalature dinamiche sono:

- la movimentazione della merce, avvenendo su rulli, riduce fino al 50% i percorsi degli operatori;
- con la movimentazione a gravità, i materiali si spostano senza dover sostenere costi energetici;
- aumenta la capacità di stoccaggio, rispetto a scaffali tradizionali, anche del 100%;
- si minimizza l'utilizzo dei carrelli elevatori, usati in questo caso solo per il carico e lo scarico dei pallet;
- permette lo sfruttamento massimo del volume a disposizione. I magazzini dinamici hanno infatti bisogno solo di due corridoi di passaggio (non di corsie intermedie): uno per l'immissione e uno per il prelievo delle unità di carico.

2.4 GESTIONE DEI MAGAZZINI

La coordinazione dei magazzini, che comprende sia i depositi sia i centri di transito, è essenziale per l'efficace gestione degli spazi di stoccaggio. Queste due strutture si distinguono per la durata della permanenza delle merci e per la funzione che assumono all'interno delle reti logistiche aziendali. I depositi hanno il compito di equilibrare la domanda di materiali da parte di un sito produttivo o di distribuzione, tenendo conto delle esigenze dei vari attori coinvolti nella catena di approvvigionamento. I centri di transito, invece, fungono da nodi di raccolta e redistribuzione dei flussi di prodotti verso destinazioni successive, agendo come punti di passaggio dove le merci vengono temporaneamente accettate per essere poi rapidamente inoltrate.

L'amministrazione efficace di un magazzino riveste un ruolo cruciale per qualsiasi impresa, poiché una gestione disorganizzata può complicare il processo di consegna, portando a potenziali insoddisfazioni tra

i clienti. Le variabili da considerare in tale gestione sono numerose e le procedure possono variare in complessità a seconda delle dimensioni dell'impianto, del tipo e della diversità delle merci stoccate, delle modalità di consegna, tra gli altri fattori. La gestione del magazzino implica la realizzazione di attività di manutenzione, la formazione del personale addetto e l'assunzione di responsabilità legate a un'ampia gamma di operazioni: trasporto, accettazione, acquisti, monitoraggio delle scorte, immagazzinamento e distribuzione dei beni.

I quattro pilastri fondamentali per un'ottimale gestione del magazzino includono:

- **Personale:** è imprescindibile che gli addetti siano adeguatamente qualificati e formati per le loro specifiche funzioni, al fine di assicurare la massima efficienza nel lavoro svolto.
- **Sicurezza del magazzino:** rispettare le normative di sicurezza vigenti e mantenere un ambiente di lavoro salubre e sicuro è di vitale importanza, sia per la protezione degli operatori che per l'integrità dell'attività stessa. Gli incidenti e gli infortuni possono avere ripercussioni negative sull'economia dell'azienda se non gestiti adeguatamente. L'adozione di misure preventive, l'uso corretto delle protezioni, la funzionalità dei sistemi di sicurezza, la pronta segnalazione e riparazione di guasti, e la regolare manutenzione di macchinari e veicoli contribuiscono a ridurre al minimo i rischi.
- **Documentazione:** la corretta redazione dei documenti di gestione è fondamentale sia per gli adempimenti fiscali che amministrativi. Mantenere un registro preciso delle operazioni, delle movimentazioni e delle quantità rappresenta uno strumento essenziale per garantire l'efficienza operativa. Tra i documenti più importanti da gestire con cura si annoverano il Documento di Trasporto (DDT), le fatture di acquisto e di vendita, gli ordini di acquisto e l'inventario dei prodotti.
- **Logistica:** questo aspetto abbraccia la gestione complessiva, fisica, informativa e organizzativa, del flusso dei prodotti dall'origine fino ai consumatori finali. Occupandosi di coordinare i diversi segmenti della catena distributiva, la logistica costituisce il cuore dell'organizzazione magazziniera, assicurando l'integrazione e la fluidità delle operazioni lungo l'intera catena di fornitura.

2.5 LAYOUT DI MAGAZZINO

Un magazzino è suddiviso in zone, in base al tipo di prodotto che riceve e spedisce e alle attività che avvengono al suo interno. Per ottenere un dimensionamento ottimale di ogni area del magazzino, bisogna prima di tutto analizzare le operazioni che verranno svolte al suo interno e i flussi delle merci che vi dovranno transitare.

2.5.1 AREA INBOUND

La zona inizialmente incontrata all'entrata del deposito è destinata all'accoglienza delle merci fornite dai fornitori. Tale area è caratterizzata da diverse funzionalità che determinano le sue dimensioni, tra le quali:

- Scaricamento dagli autocarri: area riservata al disimpegno delle merci trasportate sugli autocarri provenienti dai fornitori. L'estensione di tale spazio sarà condizionata dalle dimensioni a terra dei veicoli impiegati per il trasporto e dal numero di banchine di disimpegno richieste. Normalmente, si prevede la presenza di una banchina di disimpegno per ogni sei arrivi quotidiani, una proporzione che considera il tempo necessario a un operatore di muletto per lo scarico dei pallet e il loro successivo trasferimento dalla zona di ricezione alle aree di stoccaggio designate. Nel cortile di ricezione è indispensabile predisporre un'area d'attesa, dove i veicoli di trasporto possono sostare in attesa della disponibilità di una banchina libera, e uno spazio specifico per lo scarico dei vagoni merci, nel caso in cui si faccia affidamento sul trasporto ferroviario.
- Modifica dell'unità di carico: attività che consiste nella trasformazione del supporto utilizzato per la consegna delle merci, necessaria a causa di requisiti di stoccaggio o di restrizioni esterne. È quindi essenziale allestire un'area dedicata alla modifica dell'unità di carico. Per garantire l'efficienza del magazzino, è fondamentale minimizzare il più possibile questa operazione, considerata un'attività priva di valore aggiunto, attraverso la stipula di accordi con il fornitore.
- Controllo in ricezione: gli addetti procedono a un'ispezione sia quantitativa che qualitativa delle merci ricevute in magazzino. Questo processo impiega tempo, rendendo indispensabile l'allestimento di un'area di controllo adeguatamente dimensionata in relazione all'adozione, da parte dell'impresa, di una metodologia di verifica campionaria o sistematica sui prodotti, e considerando il tempo medio necessario per completare le operazioni di verifica.
- Sdoganamento per il ricevimento merce effettuato sotto controllo doganale.
- Collocazione in "quarantena": organizzare un'area specifica per i prodotti difettosi, affinché siano separati da quelli conformi. Le dimensioni di questa zona sono determinate sulla base della quantità anticipata di articoli non conformi, calcolata mediante l'analisi dei dati storici.

La zona di ricezione come quella di spedizione svolge un ruolo molto importante di regolazione del flusso logistico; disporre di un'area sufficiente per tale funzione è determinante per poter organizzare adeguatamente i flussi di materiale.

Il metodo di dimensionamento si può suddividere in cinque fasi:

- stabilire le sottozone necessarie;
- identificare i flussi di entrata;
- identificare i flussi di uscita;
- dimensionare in funzione dei flussi di entrata e uscita, aggiungendo lo spazio necessario per i corridoi di servizio, definito dall'ingombro delle attrezzature di movimentazione;
- redigere il progetto preliminare di layout della zona, tenendo conto di eventuali future esigenze di ampliamento.

2.5.2 AREA STOCK

Prima di procedere con il dimensionamento della zona di stoccaggio del magazzino, si deve definire la strategia di assegnazione delle locazioni alla merce immagazzinata.

Le strategie possibili sono due:

- stoccaggio senza vincolo: l'assenza di vincoli implica che ogni posizione di stoccaggio possa essere attribuita a qualsiasi articolo. Risulta di fondamentale importanza registrare nel sistema informatico la collocazione di stoccaggio di ogni pallet per facilitarne la successiva individuazione. Il principale beneficio di questa strategia organizzativa delle posizioni risiede nell'ottimizzazione dello spazio di magazzino, dato che le aree vengono occupate basandosi sulle specifiche caratteristiche dei prodotti immagazzinati.
- Stoccaggio con vincolo: Ogni posizione di stoccaggio viene designata per una specifica famiglia di prodotti o per un articolo singolo. Questo approccio facilita notevolmente la localizzazione del prodotto, poiché è sempre allocato nello stesso punto di stoccaggio. Tuttavia, il principale inconveniente risiede nell'inefficienza dello spazio utilizzato: in assenza del prodotto nel magazzino, lo spazio riservato a quel particolare articolo rimane inutilizzato, richiedendo quindi aree di stoccaggio più estese. Per questa ragione, tale metodo di allocazione è adottato solo occasionalmente dalle imprese.

Per determinare le dimensioni dell'area di stoccaggio con allocazioni randomizzate, si utilizza come criterio la previsione delle scorte future piuttosto che la media delle giacenze attuali, poiché il dimensionamento delle scorte mira a stabilire la quantità necessaria negli anni a venire. In aggiunta, la stagionalità rappresenta un elemento cruciale nel calcolo dell'area richiesta per le scorte, dato che è

possibile notare un incremento delle giacenze in prossimità dei periodi festivi. Al fine di evitare un sovradimensionamento dei magazzini, le imprese con marcata stagionalità optano per lo stoccaggio esterno nei periodi di maggiore accumulo di merci.

2.5.3 AREA OUTBOUND

Nell'ambito dello spazio destinato all'area di spedizione, la sua determinazione è influenzata dalle operazioni svolte all'interno di tale zona, le quali includono:

- Allestimento ordini: consiste nell'assemblare gli articoli provenienti da diverse origini che sono destinati allo stesso cliente o che devono essere spediti utilizzando lo stesso mezzo di trasporto. Tale operazione è particolarmente rilevante nei punti di transito. La grandezza di questa area è determinata in base al tempo medio di attesa dei pacchi che arrivano da fonti differenti;
- In attesa di check: l'area richiesta per l'ispezione delle merci prima della loro spedizione si amplia qualora i tempi di preparazione degli articoli destinati allo stesso mezzo di trasporto non risultino allineati;

In conclusione, si osserva che il dimensionamento delle zone di un magazzino dipende dai flussi di materiale che lo attraversano e dall'organizzazione del deposito.

2.6 INDICI DI PERFORMANCE

Un aspetto cruciale nell'amministrazione delle operazioni aziendali è costituito dalla valutazione degli indicatori di performance. Si dovrebbe evitare di adottare qualsiasi misura di miglioramento presunta senza prima avere chiaramente definito lo stato attuale e aver delineato uno stato futuro desiderato.

Stabilire lo stato presente implica essenzialmente offrire una descrizione dettagliata dell'ambito oggetto di intervento, attraverso due prospettive distinte: una qualitativa e una quantitativa.

La descrizione qualitativa mira a chiarire il luogo e il modo in cui si svolgono i processi. In questa fase, risulta essenziale elaborare diagrammi di flusso che mettano in luce gli attori fisici e organizzativi partecipanti alle operazioni in esame; parallelamente, è vantaggioso sviluppare un modello che illustri i due flussi principali: il flusso fisico di materiali/documenti e quello delle informazioni. Non è insolito, nel processo di codificazione di flussi ritenuti efficienti per la loro consolidata pratica operativa e per essere considerati ottimizzati sulla base della loro sedimentazione comportamentale e procedurale, riconoscere di essere distanti dall'efficienza ottimale. Frequentemente emergono colli di bottiglia persistentemente gestiti come ineliminabili piuttosto che come ostacoli da superare definitivamente, si evidenziano attività superflue che potrebbero essere consolidate in un unico punto del flusso, e si rilevano operazioni inutili

dal punto di vista logico, magari eredità di pratiche consolidate in contesti operativi molto differenti da quelli attuali.

Esistono metodologie particolarmente efficaci per la ristrutturazione dei flussi anche sotto l'aspetto quantitativo, tra le quali la Value Stream Mapping³ si distingue per efficacia. Questa tecnica fornisce una rappresentazione delle attività arricchita da dati quantitativi (come tempi, volumi, frequenza dei documenti, lunghezza delle code, numero di operatori coinvolti, per citarne alcuni), che facilita l'individuazione delle criticità e la valutazione dello stato futuro utilizzando gli stessi parametri, offrendo così un doppio vantaggio: la possibilità di quantificare il miglioramento atteso, anche confrontando diversi scenari, e di verificare ex post i risultati ottenuti.

La descrizione quantitativa permette di dare valore alle metriche di flusso e di impiegarle per gli scopi appena menzionati. In particolare, offre una rappresentazione numerica capace di sottolineare disequilibri nei flussi e nelle risorse, agevolando l'identificazione delle aree su cui intervenire per aspettarsi i maggiori benefici in termini economico-finanziari.

Sebbene una dettagliata Value Stream Map consenta di individuare le metriche di flusso per migliorare il luogo e il modo in cui si opera, è altresì vero che l'utilizzo di indicatori aggregati (che offrono un'interpretazione retrospettiva delle operazioni nel tempo) e statici (non necessariamente collegati a un'analisi del flusso) permette di valutare numericamente la gestione di una funzione aziendale. Nel contesto del magazzino, si fa riferimento agli indici di magazzino, di cui vengono elencati i principali:

- Indice di selettività, quantità di UdC direttamente prelevabili;
- Coefficiente di superficie
- Coefficiente di volume;
- Altezza del piano compenso;
- Indice di manodopera;
- Indice di potenza;
- Grado di utilizzo del sistema;

Se il valore è compreso tra 0,8 e 0,9 si ha un indice correttamente dimensionato; 0.5 sistema sovradimensionato, ovvero è utilizzata solamente il 50% della possibilità di movimento; 0.9 sistema sottodimensionato che non lavora in condizioni efficienti, poiché si ha un'elevata possibilità di guasti e interruzioni.

- Coefficiente di servizio;
- Indice di rotazione;

³ Dal sito "[Flussi ottimizzati: la promessa del VSM per una logistica avanzata \(logisticamente.it\)](#)"

2.7 ATTREZZATURE DI STOCCAGGIO

Nel processo di progettazione di un magazzino, la determinazione del sistema di stoccaggio più vantaggioso richiede un'attenta valutazione dei seguenti elementi:

- Il fattore tecnico, il quale considera le specifiche del prodotto da stoccare, compreso il peso e il volume delle unità di carico, oltre alla frequenza e al volume delle operazioni di prelievo e deposito, e infine le necessità relative alla sicurezza e all'igiene;
- Il fattore economico, finalizzato alla riduzione dei costi relativi all'ammortamento del capitale investito, alla forza lavoro, alla manutenzione e all'eventuale deprezzamento delle merci conservate in magazzino. I sistemi di immagazzinamento possono essere classificati in due ampie categorie, a seconda del metodo adottato per l'archiviazione delle Unità di Carico, che può avvenire tramite sovrapposizione diretta o utilizzando le scaffalature.

2.7.1 CATASTA

Conformemente alla Block Stacking Policy, i pallet sono organizzati in pile omogenee, distanziate da corridoi che consentono la movimentazione. Pertanto, è cruciale che i prodotti siano di natura leggera e resistente a potenziali danni. Questo approccio risulta essere versatile ed economicamente vantaggioso, dato che non necessita di strutture specifiche, ma unicamente di carrelli elevatori per il trasferimento dei materiali. Per quanto concerne le metriche di valutazione, questa modalità di stoccaggio si distingue per un elevato tasso di occupazione dello spazio orizzontale, visto che l'intera area viene impiegata per l'allocazione dei materiali, e per una limitata selettività, dato che per accedere a un pallet collocato in posizione inferiore è necessario spostare quelli situati più in alto.

2.7.2 SCAFFALATURE A RIPIANI

Scaffalature in metallo, progettate con dimensioni adeguate, sono adatte per accogliere unità di carico pallettizzate e si rivelano particolarmente efficaci nei magazzini dove è richiesto l'immagazzinamento di prodotti pallettizzati di diverse varietà. Questo sistema di stoccaggio migliora la gestione delle merci, permettendo di accedere a ogni singolo pallet senza la necessità di rimuovere altri; offre un'elevata flessibilità per adattarsi a carichi di diverse dimensioni e pesi; assicura una gestione ottimale delle scorte, poiché è immediato verificare la disponibilità di spazio in ogni sezione. La disposizione degli spazi prevede l'uso di scaffalature accessibili da un lato per i corridoi laterali e da entrambi i lati per quelli centrali. La dimensione dei corridoi e l'altezza massima di stoccaggio sono determinate dalle specifiche dei mezzi di movimentazione e dalle dimensioni dell'area di stoccaggio. In questa configurazione, l'efficienza

nell'utilizzo dello spazio è ridotta poiché non tutta l'area è impiegata per l'immagazzinamento dei prodotti; tuttavia, questo compromesso favorisce l'accessibilità agli spazi di stoccaggio. Esistono principalmente due sistemi:

- Lo scaffale convenzionale a singola profondità, che consente ai mezzi di movimentazione di accedere direttamente ai pallet disposti lungo la fila;
- Lo scaffale convenzionale a doppia profondità, che offre la possibilità di posizionare un pallet dietro l'altro in ogni fila, ma limita l'accesso diretto solo ai pallet frontali, rendendolo ideale per prodotti disponibili in grandi quantità per ciascuna tipologia, al fine di minimizzare la duplicazione di movimentazioni e tempi di accesso.

2.7.3 SCFFALATURE PASSANTI

Le scaffalature passanti fungono da supporto per i pallet e sono specificamente progettate per accogliere unità di carico che non possono essere impilate. Questi sistemi includono scaffalature che creano corridoi interni di carico, dotati di guide su cui poggiano i pallet, consentendo l'ingresso di veicoli per la movimentazione al loro interno per depositare o recuperare un pallet. Queste strutture ottimizzano l'impiego dello spazio disponibile, sia orizzontalmente che verticalmente, e sono costruite con materiali di elevata resistenza, adatti al supporto di carichi significativi. In genere, il numero di articoli che il sistema può ospitare corrisponde alla quantità di corridoi di carico presenti, ed è opportuno che ciascun corridoio sia dedicato a un singolo tipo di articolo per minimizzare spostamenti inutili dei pallet. Queste soluzioni di stoccaggio offrono una capacità superiore rispetto ai sistemi porta-pallet tradizionali, grazie alla riduzione dell'area necessaria per la movimentazione.

Le scaffalature attraversanti si dividono in categorie Drive-in e Drive-through, basate sul metodo di stoccaggio e recupero dei pallet. Con il sistema Drive-in, sia il deposito che il ritiro delle merci si effettuano dallo stesso lato, seguendo un approccio LIFO (Last In, First Out). Al contrario, il sistema Drive-through prevede il deposito da un lato e il ritiro dall'altro, operando secondo un principio FIFO (First In, First Out). Queste strutture sono particolarmente vantaggiose in situazioni dove esiste un alto numero di unità di carico per ciascun articolo e un numero limitato di tipologie di prodotto da gestire, poiché un'intera corsia viene occupata da una singola tipologia di articolo.

La profondità massima di queste scaffalature è limitata dal numero di unità di carico dello stesso tipo che possono essere alloggiate o dalle restrizioni legate alla manovrabilità dei mezzi di movimentazione all'interno dei corridoi. Grazie alla possibilità di estendersi verticalmente, queste strutture massimizzano l'uso dello spazio, minimizzando contemporaneamente l'area dedicata ai corridoi di movimentazione, e risultano in un maggiore sfruttamento volumetrico dell'area di stoccaggio.

2.7.4 SCAFFALATURE DINAMICHE

Le scaffalature a gravità sono strutture ad accumulo formate da canali di stoccaggio dotati di rulli leggermente inclinati che permettono lo scorrimento dei pallet. I carichi pallettizzati vengono introdotti nella parte più alta del canale e si spostano per effetto della gravità fino all'estremità opposta dove verranno successivamente prelevati.

In un magazzino dinamico a gravità vengono eliminati i corridoi intermedi con un conseguente aumento della capacità di stoccaggio. Inoltre, il magazzino dinamico permette di implementare la strategia FIFO, il che facilita una gestione efficiente dello stock.

2.7.5 SCAFFALATURE PORTA BOX

Le scaffalature porta box con prelievo tramite commissionatori verticali ottimizzano lo spazio verticale nei magazzini, consentendo l'immagazzinamento di merci in contenitori su vari livelli. Queste strutture offrono significativi vantaggi per il picking, includendo l'utilizzo efficiente dell'altezza disponibile, un accesso semplice e veloce a ogni tipo di merce, e la possibilità per la stessa macchina di trasportare sia il carico che l'operatore, riducendo lo sforzo necessario per accedere ai prodotti stoccati. La capacità di carico delle scaffalature facilita anche la preparazione di più ordini contemporaneamente o il raggruppamento degli stessi. I commissionatori, come i carrelli trilaterali, richiedono sistemi di guida per muoversi nelle corsie, che possono essere filoguidati, con un cavo magnetico sottostante il pavimento, o meccanici, con profili fissati ai lati della corsia. Questa combinazione non solo migliora la precisione e l'efficienza nella gestione dell'inventario ma consente anche una gestione ottimale dello spazio e del tempo nel magazzino.

2.7.6 MAGAZZINI AUTOMATIZZATI

Questi sistemi sono composti da una serie di scaffalature all'interno delle quali opera un trasloelevatore, capace di muoversi sia in orizzontale che in verticale simultaneamente. Le configurazioni di questi impianti si basano sulla struttura dell'edificio, sulla relazione tra il numero di trasloelevatori e il numero di corsie, sulla profondità delle postazioni di stoccaggio e sul numero di forche disponibili per il trasloelevatore. Inoltre, queste strutture necessitano di specifici impianti di testata per gestire l'entrata e l'uscita delle Unità di Carico (UdC) dal magazzino, assicurando un flusso efficiente dei materiali.

2.7.7 SCAFFALATURE COMPATTABILI

Scaffalature metalliche per pallet montate su basamenti mobili che scorrono su binari incassati nel pavimento, eliminando così lo spazio inutilizzato. Si conserva un unico corridoio di accesso, creato all'interno dell'insieme degli elementi mobili di fronte agli scaffali dove deve avvenire il deposito o il prelievo della merce. L'apertura del corridoio nella posizione richiesta può essere effettuata manualmente, operando direttamente sul fronte di ogni scaffale mobile, o in modo semiautomatico, mediante l'interfaccia con un computer che gestisce automaticamente l'apertura e la movimentazione dei basamenti mobili.

2.7.8 CAROSELLO

Questa è una struttura automatizzata dotata di varie posizioni di stoccaggio che si spostano sia orizzontalmente che verticalmente. L'operatore si posiziona generalmente presso un terminale vicino alla struttura, e le operazioni di stoccaggio e prelievo sono accelerate da un sistema informatico che permette all'operatore di individuare facilmente la locazione del prodotto desiderato. La realizzazione di tali strutture rappresenta un significativo investimento iniziale e si rivela particolarmente adeguata per gestire prodotti di piccole dimensioni catalogati in numerosi assortimenti.

2.7.9 CANTILEVER

Le scaffalature cantilever sono strutture metalliche con colonne verticali che sostengono ripiani o bracci a sbalzo, ideali per lo stoccaggio orizzontale di materiali lunghi o ingombranti come tubi e tavole. Queste scaffalature possono essere arricchite con vari accessori per adattarsi a diverse esigenze di carico. Il sistema cantilever è preferito per stoccare materiali troppo voluminosi per le scaffalature portapallet, trovando applicazione in svariati settori, inclusa l'edilizia. Esistono due varianti: il cantilever monofronte, per la presa da un solo lato e tipicamente posizionato contro una parete, e il bifronte, che permette l'accesso da entrambi i lati e si adatta a magazzini con spazio per la movimentazione di carrelli elevatori.

2.8 MEZZI DI MOVIMENTAZIONE

La gestione dei movimenti dei materiali all'interno delle fabbriche, dalla ricezione delle materie prime fino alla spedizione dei prodotti finiti, è nota come trasporti interni o "materials handling". La progettazione efficace degli spazi produttivi mira a ridurre al minimo i movimenti di materiali, evitando congestioni e

trasporti superflui, dato che il trasporto non migliora il valore aggiunto dei prodotti ma ne incrementa il costo. L'analisi ottimale dei trasporti interni è volta al conseguimento di specifici obiettivi:

- limitare i costi grazie a un minor numero di movimentazioni e riprese dei materiali, minori percorsi, migliore sfruttamento dello spazio e un aumento della produttività;
- ridurre gli scarti e le perdite, limitando i danni durante i trasporti e aumentando le possibilità di controllo dei materiali immagazzinati;
- migliorare le condizioni di lavoro, assicurando una maggiore sicurezza e richiedendo un minore sforzo;
- aumentare l'efficienza dell'azienda, attraverso la migliore organizzazione dei magazzini e la rotazione dei materiali.

La scelta dei trasporti interni più adatti alle singole esigenze richiede, oltre che la conoscenza dei principali tipi di trasportatori, la preventiva analisi del flusso dei materiali, dall'ingresso e fino all'uscita del magazzino. Di seguito si descrivono le principali attrezzature di movimentazione utilizzate nei magazzini.

I carrelli sono mezzi di trasporto discontinui, a traslazione manuale o motorizzata e si possono classificare in funzione delle modalità di azionamento in:

- carrelli a traslazione manuale;
- carrelli trasportatori-elevatori azionati manualmente;
- carrelli trasportatori-elevatori motorizzati.

2.8.1 TRANSPALLET

Un transpallet, noto anche come pallet jack o pump truck, è un attrezzo manuale o elettrico utilizzato per sollevare e spostare pallets. Consiste in due forche che si inseriscono sotto il pallet, un sistema di sollevamento che può essere azionato manualmente tramite una leva o automaticamente in caso di modelli elettrici, e ruote che permettono di muoverlo con facilità. Il transpallet è progettato per facilitare il trasporto di carichi pesanti su brevi distanze all'interno di magazzini, stabilimenti produttivi e altri spazi di lavoro, migliorando l'efficienza nelle operazioni di movimentazione delle merci.

2.8.2 CARRELLO CON FORCHE A SBALZO

Questo tipo di carrello, ampiamente adoperato in contesti industriali, si distingue per la sua capacità di operare anche su terreni irregolari all'esterno degli edifici, grazie alla presenza di un operatore a bordo. La sua altezza massima di sollevamento può arrivare fino a 6 metri, con una velocità di traslazione che

raggiunge i 15 km/h e una velocità di elevazione che varia da 0,2 m/s sotto pieno carico fino a 0,6 m/s a vuoto. Uno degli svantaggi principali di questo carrello è la richiesta di corridoi di transito ampi, tra i 3 e i 4 metri, motivo per il quale sono state sviluppate versioni specifiche per adattarsi a esigenze di spazio più ristrette o a differenti tipi di unità di carico. Come illustrato in alcune rappresentazioni, esiste la possibilità di equipaggiare il carrello con attrezzature specializzate, ciascuna progettata per la movimentazione di specifici tipi di carico.

2.8.3 CARRELLO A FORCHE CON MONTANTI RETRATTILI

Il carrello in questione si distingue per i suoi montanti che possono essere avanzati grazie a un meccanismo di scorrimento dedicato. Le operazioni di spostamento dei montanti e il sollevamento delle forche sono tipicamente gestite mediante un sistema elettroidraulico. Questa caratteristica permette una notevole riduzione degli spazi necessari per le manovre, rendendolo adatto per l'uso in corridoi più angusti. In aggiunta, questo modello di carrello mantiene una velocità comparabile a quella dei modelli precedenti e offre la capacità di raggiungere altezze fino a 10/12 metri.

2.8.4 CARRELLO ELEVATORE LATERALE

Il carrello elevatore laterale è una soluzione progettata per il trasporto di carichi lunghi, caratterizzata dalla posizione frontale sinistra della cabina dell'operatore e da una piattaforma destra con forche estensibili per il sollevamento centrale del carico. Questo meccanismo permette il trasporto sicuro con il conducente rivolto in avanti e include un sistema di inclinazione orizzontale per migliorare sollevamento e sicurezza. Originari per l'industria del legname, tali carrelli sono ora vitali anche nei settori dell'acciaio, plastica e calcestruzzo, offrendo vantaggi significativi in termini di visibilità, sicurezza e utilizzo dello spazio, grazie alla loro capacità di muoversi con carichi fissati lateralmente.

2.8.5 CARRELLI A GRANDE ALTEZZA

I carrelli elevatori per magazzini ad alta densità sono strumenti essenziali per la gestione efficiente degli spazi verticali, specialmente nel posizionamento e nel prelievo di unità di carico posizionate sui livelli superiori di scaffalature molto alte. Grazie a un montante estremamente robusto, questi carrelli sono capaci di sollevare le unità di carico fino a un'altezza di 13-14 metri. L'operatore, rimanendo a terra senza

necessità di essere sollevato al livello del prelievo, controlla il carrello che è dotato di un sistema avanzato per la selezione dell'altezza delle forche.

Si classificano in due categorie principali:

- Carrelli a presa bilaterale, dotati di forche telescopiche, che permettono il sollevamento e il posizionamento preciso delle unità di carico.
- Carrelli a presa trilaterale, che offrono la versatilità di movimentare i carichi sia frontalmente che lateralmente lungo il corridoio senza necessità di manovre di sterzata complesse, in quanto le forche possono ruotare di 180° attorno all'asse del supporto. Questi carrelli possono essere filoguidati o guidati tramite rotaie installate sul pavimento, garantendo così percorsi precisi e sicuri all'interno dell'area di stoccaggio.

L'impiego di tali carrelli rappresenta una soluzione ottimale per massimizzare l'utilizzo dello spazio verticale nei magazzini, aumentando notevolmente l'efficienza operativa e la sicurezza nello stoccaggio e recupero di merci allocate in posizioni elevate.

2.8.6 CARRELLI COMMISSIONATORI

I carrelli commissionatori rappresentano una soluzione ottimale per le operazioni di picking in ambienti di magazzino, permettendo agli operatori di accedere efficacemente a tutte le unità di carico disposte sulle scaffalature. Equipaggiati con una piattaforma elevabile, consentono agli operatori di raggiungere altezze comprese tra 8 e 10 metri dal suolo, facilitando così il prelievo manuale dei singoli colli necessari per la composizione degli ordinativi. La progettazione di questi carrelli li rende particolarmente adatti per operare in corridoi stretti, con larghezze inferiori ai 3 metri, ottimizzando l'utilizzo dello spazio e migliorando la manovrabilità in ambienti di stoccaggio compatti.

Un'evoluzione interessante in questo ambito è rappresentata dai carrelli commissionatori combinati. Questi veicoli offrono una doppia funzionalità: permettono non solo il prelievo manuale di singoli articoli ma anche la movimentazione di interi pallet. Tale flessibilità si traduce in un incremento significativo dell'efficienza operativa, consentendo alle aziende di ridurre i tempi di attesa nella preparazione degli ordini e di adattarsi a diversi tipi di carichi con un unico mezzo.

L'introduzione di questi carrelli in un magazzino moderno è sintomo di un approccio innovativo alla logistica interna, volto a massimizzare la produttività e a minimizzare gli sforzi fisici dell'operatore. La capacità di adattarsi a varie esigenze di picking e di movimentazione, insieme alla loro agilità in spazi ristretti, li rende strumenti indispensabili per le aziende che cercano di ottimizzare le operazioni di magazzino e di rispondere con prontezza alle richieste del mercato.

CAPITOLO 3 – CASO DI STUDIO

In questo capitolo verrà esaminato dettagliatamente un caso di studio relativo a un magazzino industriale, il cui scopo primario è l'ottimizzazione delle operazioni di stoccaggio, prelievo e deposito di merci. Si inizierà con l'analisi dello stato attuale (AS IS) del magazzino, descrivendo le infrastrutture logistiche e le pratiche operative vigenti. A seguire, si proporrà un modello ideale (TO BE) che introduce miglioramenti significativi attraverso strategie di automazione e ottimizzazione dei flussi operativi. Il confronto finale tra i due scenari mirerà a valutare l'efficacia delle soluzioni proposte in termini di efficienza operativa, produttività e gestione ottimale delle risorse. Attraverso questa analisi comparativa, si intende identificare le pratiche eccellenti e le tecnologie all'avanguardia per affrontare le sfide logistiche, delineando le potenzialità di miglioramento delle prestazioni complessive del sistema magazzino. Questa disamina fornirà, inoltre, preziose indicazioni per la progettazione di magazzini più resilienti e performanti nell'era della logistica 4.0.

3.1 AS IS

Il magazzino in esame rappresenta un tipico ambiente industriale destinato al prelievo, deposito e stoccaggio merci, coprendo un'area di 35 x 14,50 m per un totale di superficie occupata pari a circa 500 metri quadri. La progettazione dello spazio e la disposizione interna sono state ottimizzate per supportare un flusso di lavoro efficiente e sicuro, gestendo al meglio le distanze al fine di permettere un passaggio sicuro agli operatori e ai mezzi di movimentazione.

Un'ulteriore area di interesse all'analisi dei flussi in ingresso e uscita è quella del cross docking, area di stazione temporanea della merce che detta le regole e i volumi immagazzinati.

Le strutture utilizzate per lo stoccaggio sono scaffalature leggere a tre ripiani, con altezza minima e massima consona a non creare rischi sulla salute fisica del personale addetto. Le dimensioni di ingombro di ogni campata sono di 1300 x 450 x 2000 mm. Le spalle delle scaffalature sono condivise tra due vicine, ad eccezione della prima e dell'ultima campata di corsia che non condivide i montanti, il lato lungo tra le due ubicazioni che si affacciano su corsie parallele, è delimitato da una rete metallica che non permette allo stock di sconfinare a seguito di una troppa spinta dell'operatore nel ripiano adiacente. La luce utile per l'immagazzinamento della merce è di 1240 mm effettivi, la forma delle spalle ad "elle" arriva ad occupare 30 mm per lato.

Il prodotto da gestire è un box di 400 x 150 x 80 mm, una forma abbastanza di carattere classico che può contenere qualsiasi tipo di termoformato per minuteria. Verrà considerato come unità indivisibile e non sarà preso in considerazione il contenuto se non il numero di pezzi che il collo contiene.

L'analisi non considera tutta la catena logistica, ma fa focus su particolari segmenti, la presa in carico della merce già entrata a magazzino, lo stoccaggio e la relativa uscita di quest'ultima dall'area di deposito. Attività esterne sono lo scarico e il carico della merce nei mezzi di trasporto, quali bilici, nelle aree di ricevimento e spedizione, e la creazione di liste di prelievo e deposito, lanciate con le logiche più opportune alle varie situazioni dello stock da parte dell'ufficio amministrativo. Come base di partenza è stata ipotizzata una condizione ottima nella quale le liste seguono la logica del percorso minimo, cosicché l'operatore sia il più efficiente possibile in termini di produttività.

Il flusso di lavoro è completamente informatizzato, controllato da un gestionale che permette in tempo reale di conoscere ed effettuare qualsiasi movimento, monitorare la giacenza attuale e la posizione esatta di ogni box presente a stock.

Per avere questa visione, ogni box ha sulla parte visibile quando impilata nello scaffale, un'etichetta.

Ogni etichetta presenta un identificativo, un codice di dieci caratteri alfanumerici, il numero di unità al proprio interno ed un codice a barre.

Come per i box anche le scaffalature seguono un ragionamento analogo, le etichette apposte sui ripiani degli scaffali hanno un codice a barre ed un codice numerico spaccettato in tre parti che indicano la corsia sulla quale lo scaffale si trova, la campata ed il ripiano nel quale il box è situato.

L'etichetta con il codice 005 020 002 comunica a chi la legge che si trova nella corsia 005, che lo scaffale davanti a sé è il numero 020 ed il ripiano è il secondo.

Gli operatori addetti alle operazioni di deposito e di prelievo sono dotati di palmare, gabbia metallica come mezzo di movimentazione della merce e di uno sgabello a due gradini con ruote a scomparsa per raggiungere quote fino a due 2,30 metri.

Il palmare è lo strumento che permette all'operatore di iniziare l'attività che l'ufficio amministrativo gli passa tramite liste. A seguito dell'avvio dell'opzione di prelievo o deposito sul palmare dall'addetto, basterà inquadrare il codice a barre sulla relativa lista ed inizierà l'attività. Sarà il palmare che guiderà l'operatore sul percorso da seguire e le quantità da prelevare.

Mostrato a schermo ci sarà inizialmente l'ubicazione verso la quale ci si dovrà muovere e la quantità da prelevare. Ogni passo è pensato per ridurre al minimo eventuali errori umani commessi, arrivato all'ubicazione di interesse dovrà essere inquadrata l'etichetta del vano e del ripiano corretto, a quel punto si cercherà tra i box presenti e si dovrà confermare quella prelevata inquadrandone il codice a barre.

I box prelevati saranno disposti nel mezzo di movimentazione della merce che l'operatore porta con sé, si tratta di gabbie metalliche con due ruote su quattro pivotanti, delimitate su tre lati da griglie metalliche che, oltre a contenere nei limiti il carico, permette di vedere quali e quanti box sono state prelevati.

Ogni missione di prelievo è di 120 box, corrispondente alla capacità di carico delle gabbie. Arrivati a saturazione e quindi terminata la missione, ci si dirigerà alla stazione del cross per scaricare la gabbia e procedere all'inizio della lista successiva finché non saranno esaurite. La merce scaricata andrà

posizionata su appositi pallet, di dimensioni standard 1200 x 800 mm presi in carico da operatori esterni delle aree di ricevimento e spedizione.

L'operazione di deposito ha una procedura di start analoga a quella di prelievo, con la differenza che non si inizierà con la gabbia vuota, ma piena. Anche in questo caso l'operatore dovrà confermare ogni step tramite palmare e la dimensione di ogni missione sarà pari alla capacità di carico del mezzo di movimentazione.

Le liste di deposito sono state pensate senza una strategia al fine di rendere meno vincolata la suddivisione delle aree di magazzino. Un'opzione era quella di suddividere le aree del magazzino, ad esempio, per famiglia di prodotto, così facendo ci potrebbero essere dei problemi nel caso in cui i volumi delle famiglie in ingresso aumentino.

Sarà l'operatore che deciderà dove posizionare la merce, se in un'area precedentemente concordata o nella prima posizione disponibile trovata. L'area concordata non avrà un numero fisso di scaffali dedicata, ma un numero ed uno spazio variabile.

Esiste sempre la possibilità di creare dei vincoli a sistema sulla suddivisione della merce secondo qualsivoglia criterio, basterà impostare il tutto in fase di creazione lista.

Il mittente della merce da depositare è il reparto produttivo situato nello stesso stabile del magazzino, un logista si occuperà di prendere il prodotto finito dalla linea di lavorazione, posizionarlo nelle gabbie e trasportarlo nella stazione del cross del magazzino, a quel punto verrà presa in carico dagli operatori sotto la lente d'ingrandimento del progetto.

La dimensione degli ordini di deposito e prelievo è pari a tremila unità/giorno, prima avviene il deposito della merce che andrà a riportare le scorte ad un livello utile al soddisfacimento delle richieste esterne, e successivamente il prelievo.

Il fenomeno dello stockout non è stato preso in considerazione in quanto arrivando l'ordine in primis all'ufficio amministrativo, questo si occuperà di filtrare le richieste in base alle giacenze reali consultabili dal gestionale, e prenderà eventuali decisioni su quali famiglie di prodotto cambiare le disponibilità per offrire un migliore livello di servizio. La lista presa in carico dall'operatore è a livello teorico prelevabile in toto.

Anche eventuali mancanze dovute ad un possibile disallineamento tra giacenza reale e giacenza a sistema sono state bypassate ipotizzando un frequente inventario rotativo esterno, che, non utilizzando manodopera interna si occupa di correggere eventuali errori a sistema. Casi del genere nel quotidiano di magazzino con logiche e strutture come quelle descritte sono molto frequenti, sono generati da disattenzioni degli operatori che, per poter prelevare l'item primo di una colonna, spostano completamente i box nel vano accanto, dimenticandosi di rimetterle a seguito della presa nella posizione corretta. Errori dovuti a disattenzioni sono estremamente comuni, sta ai sistemi informativi e alle giuste metodologie far sì che non accada e, ove impossibile eliminarli, ridurre la probabilità di accadimento.

La struttura appena descritta presenta ampi margini di miglioramento, sia in termini di efficienza, sia in termini di riduzione errori umani.

Durante l'osservazione e soprattutto durante le prove da neofita, l'attività che maggiormente occupa del tempo è la ricerca del corretto codice da prelevare. Essendo box tutti uguali l'unica informazione consultabile è quella offerta dal codice identificativo alfanumerico di dieci caratteri. La difficoltà nel leggere le corrette sequenze di caratteri non è banale, è questione di una minima disattenzione, per confondere dei caratteri simili e prelevare l'idem sbagliato. Nel contesto descritto il dover confermare il codice con il palmare risolve in parte il problema, evitando così che l'operatore non prelevi in modo errato, non risolve però il problema del tasso di prelievo.

Un caso molto grave di disattenzione è il seguente, l'addetto a seguito della ricerca e dell'individuazione del collo da prelevare inquadra l'etichetta, ovviamente il sistema accetta il codice essendo quello corretto, e mostra già l'ubicazione dell'item successivo o il collo successivo se il prelievo da compiere è ancora nello stesso vano; l'operatore procede al prelievo fisico, ma trovandosi sotto altri box preferisce spostare le unità in eccesso anziché sfilare quella di interesse. Ripone il palmare, sposta i colli, ma nello spostamento prende anche quello che avrebbe dovuto prelevare e procede con un altro codice. Così facendo si andrà incontro ad un pezzo sbagliato nel completamento dell'ordine e due errori a sistema per la giacenza, un codice che non dovrebbe essere più presente ancora lo è ed uno che invece dovrebbe essere presente non lo è.

Possibili soluzioni a questi specifici errori sono quelle di ridurre al minimo il tempo intercorso tra una conferma a sistema ed il relativo svolgimento fisico.

Nei contesti di magazzino non sempre è presente la contro conferma del codice prelevato, non tutti i sistemi gestionali garantiscono questa opzione. Gli errori di distrazione nelle attività ripetitive a poca richiesta intellettuale sono estremamente frequenti e difficilmente tracciabili a posteriori.

L'unico modo per migliorare con le stesse condizioni al contorno è tramite esperienza e comprensione delle famiglie di prodotto e delle logiche che stanno dietro i singoli caratteri o parti della sigla.

Passata l'attività di ricerca e riconoscimento visivo del codice un altro aspetto impattante è il tempo che l'operatore spende per muoversi tra un vano e l'altro alla ricerca del corridoio, vano e ripiano obiettivo.

Anche per quanto riguarda lo spostamento tra gli scaffali l'esperienza e l'apprendimento sono l'unico modo per raggiungere l'efficienza (a pari velocità di marcia). L'aver una mappa mentale del magazzino e della posizione di corsia, o addirittura, dei vani, è un qualcosa che si raggiunge a seguito di numerose ore passate a spostarsi tra un'ubicazione e l'altra.

Inoltre, anche dal punto di vista del layout si potrebbe considerare un'inefficienza, qualcosa che nei magazzini tradizionali, come quello descritto, è del tutto necessaria e non classificabile come influente nelle produttività.

La larghezza delle corsie di passaggio tra una scaffalatura e l'altra è tutto spazio non destinato allo stoccaggio.

Il coefficiente di superficie è pari a 0.399 calcolato come rapporto tra superficie occupata dagli scaffali e superficie totale.

Sarebbe sbagliato considerare un ipotetico miglioramento in termini di utilizzo dei metri quadri di magazzino, se necessari operatori tra i vani per prelevare o depositare.

L'obiettivo di questo progetto è confrontare un caso di prelievo, deposito e stoccaggio tradizionale con un caso in cui tutte le operazioni con aspetti migliorabili siano automatizzate per essere efficientate e di conseguenza aumentare parametri come quello del coefficiente di superficie, della produttività e ridurre errori umani.

3.2 TO BE

L'evoluzione del precedente modello tradizionale si focalizza su due aspetti cardine, una nuova logica del flusso della merce, non più man to goods, ma goods to man e dell'utilizzo di nuove strutture per lo stoccaggio della merce.

Le inefficienze descritte precedentemente sono perlopiù dovute e relazionate agli operatori, per questo motivo si è pensato ad un modello in cui la movimentazione della merce all'interno dell'area di deposito sia gestita completamente da robot automatizzati, chiamati AMR (Autonomous mobile robots) e la reinterpretazione dell'area del cross docking in un'area con operatori fissi focalizzati solo ed esclusivamente alle attività di prelievo e deposito.

Gli AMR sono dei robot di contenute dimensioni come 950 x 730 x 240 mm sollevano i carichi utilizzando meccanismi integrati come bracci robotici, pinze, o piattaforme sollevabili, che permettono loro di afferrare, sollevare e trasportare materiali da una posizione all'altra con precisione e sicurezza, adattandosi alle specifiche esigenze operative.

L'implementazione della soluzione necessita e comporta la costruzione di apposite strutture volte allo stoccaggio, con una base ad altezza consona al posizionamento e al passaggio degli AMR.

A seguito di varie idee il prodotto finale è risultato essere un rack con le seguenti misure 1250 x 880 x 2460 mm.

Il primo piano parte da un'altezza di 300 mm per permettere il sollevamento, l'area di deposito è invece descrivibile come un alveare a due facciate, una sequenza di livelli suddivisi in 5 ubicazioni 250 x 100 mm destinati a contenere un singolo box.

I rack passeranno ad essere non più strutture anonime, ma smart, queste avranno una connessione al gestionale che, oltre a mostrare la distinta di ogni codice contenuto in esso, mostreranno all'operatore quale item prelevare tramite dei led in ogni vano.

Il pick to light (P4L) risolverà il problema della ricerca del codice tra i tanti presenti.

Il layout del magazzino sarà completamente stravolto, si avranno tre sole corsie per il passaggio dei rack, rispettivamente due nei lati esterni ed uno centrale di vitale importanza per ridurre drasticamente il numero delle strutture di ingombro nel prelievo di quella di interesse.

L'operazione di prelievo in questo caso verrà attivata dall'operatore situato al cross docking inquadrando il codice a barre con il suo palmare, anche in questo caso l'ufficio amministrativo avrà la responsabilità di generare la lista, con logica più opportuna alla situazione.

Lanciata la lista, l'AMR inizierà a dirigersi verso il rack obiettivo, si posizionerà sotto, lo solleverà e lo porterà nell'area del cross docking, lo rilascerà e si dirigerà immediatamente per movimentare quello successivo.

L'operatore appena avrà a disposizione il rack inizierà il prelievo dei box in modo del tutto automatico seguendo l'illuminazione dei led, non dovrà più inquadrare il codice a barre di ogni item in quanto già registrata la relazione tra item e ubicazione nella fase di deposito, ed inoltre, la presenza di un sensore ad infrarossi comunicherà al sistema il momento in cui il collo sarà prelevato dal vano.

Una volta terminata la prima facciata del rack si procederà con la seconda.

Durante il prelievo fisico lo shuttle avrà già completato lo spostamento del rack successivo cosa che permetterà all'operatore di non doversi fermare e passare a svolgere l'attività nel prossimo, stessa cosa farà il mezzo occupandosi di riportare la struttura esaurita dal prelievo nell'area di deposito e dirigendosi al seguente.

L'attività così composta permetterà di ridurre i tempi nella ricerca del vano, nella ricerca del codice corretto e di eventuali errori causati da distrazioni.

Nel qual caso ci sia il prelievo di un item non corretto rimarrà attivo il solo led del vano appena prelevato e sarà mostrato a sistema il codice da riposizionare nel vano, questa schermata rimarrà tale finché non sarà risolto l'errore.

L'attività di deposito sarà analoga a quella del prelievo, con la differenza che l'operatore inserirà i box nei vani a seguito della lettura del codice a barre. Da parte dell'operatore è necessaria solo l'attività di lettura del codice tramite palmare per permettere al sistema di riconoscere il prodotto, non sarà necessario invece l'inserimento dell'ubicazione perché svolto automaticamente dal sensore infrarossi. La relazione tra l'entità codice e l'entità vano andrà ad essere creata dal sistema nel momento in cui il sensore manderà in input l'interruzione dell'infrarosso.

Il nuovo contesto risolve tutti i problemi messi in luce nel paragrafo precedente.

Il riempimento del magazzino con i rack permette di usufruire quasi completamente dello spazio a disposizione, aumentando così il coefficiente di superficie quasi al massimo per progetti di questo tipo, il valore raggiunto è pari a 0.531 decisamente maggiore rispetto all'utilizzo delle scaffalature tradizionali. Sono presenti tre soli corridoi per il passaggio delle macchine autonome ed i 200 millimetri di tolleranza tra tutti i lati delle strutture. L'aumento del coefficiente di superficie, indicativo di un maggiore utilizzo dello spazio, suggerisce un incremento nella capacità di stoccaggio. Tuttavia, l'elemento cruciale di questo progetto è l'ottimizzazione dell'efficienza. È fondamentale assicurarsi che l'incremento del coefficiente di superficie non comporti una diminuzione della selettività. In ambito di magazzino, la selettività è definita dalla possibilità di accedere e prelevare ciascuna unità di stoccaggio o SKU (Stock Keeping Unit) individualmente, senza dover spostare altre unità. Questa caratteristica è essenziale in strutture come le scaffalature porta-pallet, che consentono l'accesso diretto a ogni pallet. La selettività raggiunge il suo apice nei sistemi di stoccaggio a scaffalatura convenzionale, dove ogni posizione pallet è immediatamente accessibile dal corridoio. Questo rende tali sistemi ideali per magazzini che necessitano di un rapido accesso a un'ampia varietà di prodotti. Con le strutture appositamente progettate il parametro in questione è massimo, pari ad 1 durante le fasi di prelievo e deposito, durante lo stoccaggio massivo in ambienti automatizzati dei rack il parametro perde di significato e paragone.

La capacità del caso automatizzato è di 42.120 codici contro un volume di stoccaggio raggiunto con scaffalature leggere di 37.180 pezzi.

La ricerca visiva del codice tra i colli presenti a scaffale è anche questa praticamente azzerata grazie ai led che comunicano quale prelevare, l'unico tempo speso nella ricerca è quello del led attivo. In questo caso si instaurerà un metodo efficiente nel prelievo per migliorare ulteriormente tempi che possono dirsi quasi trascurabili, ma che, se non gestiti correttamente porterebbero nel personale meno esperto a inefficienze significative, si procederà a prelevare non in modo randomico, ma dall'alto verso il basso o dal basso verso l'alto così da avere un percorso mentale da seguire.

Anche errori di spostamento di codici in vani adiacenti per poter prelevare l'item di interesse non saranno più presenti data la relazione univoca ed individuale tra vano e codice.

La strategia di prelievo con percorso minimo non avrà più lo stesso impatto, sarà sì più veloce la movimentazione dei rack vicini tra deposito e prelievo, ma la fase progettuale di spaccettamento delle microattività fatta per determinare il tempo totale delle operazioni dell'operatore e dell'AMR mostra che la produttività di quest'ultimo è molto più elevata di quella dell'umano.

Il tempo passato alla ricerca di un vano vuoto non sarà più un problema, sarà più facile l'implementazione di strategie per la suddivisione delle aree dei codici alto rotativi.

Un sistema del genere è perfettamente scalabile nell'eventualità che il numero degli ordini aumenti, basta aggiungere un nuovo mezzo di movimentazione nell'ambiente per incrementare la produttività degli spostamenti. Altra caratteristica del sistema oltre alla scalabilità è la replicabilità in altri ambienti. Gli AMR

non avranno bisogno dello stesso tempo per ambientarsi ad un nuovo layout in quanto basterà settare nel sistema le nuove coordinate dei rack e delle destinazioni di deposito nel cross docking.

Un ulteriore aspetto che spinge nell'automazione è l'assenteismo dell'essere umano, in entrambi i casi sono presenti degli operatori, ma il rapporto per gestire gli stessi volumi è di 3:2, tre nel caso manuale e due nel caso automatizzato. Per la gestione di volumi come quelli considerati non è estremamente impattante tutto ciò, ma diventa di carattere più significativo quando i volumi necessitano di 90 operatori nel caso manuale contro 60 nel caso automatizzato.

Il costo del progetto sarà estremamente alto, ripagato solo con elevati volumi, per quanto riguarda la flessibilità nell'immediato risulta logicamente più efficiente l'aggiunta di AMR nel sistema nel caso in cui non si disponga di ulteriore personale già formato e si debba procedere con l'assunzione e la formazione. Nel caso si abbia già forza lavoro pronta ad essere inserita nell'orario lavorativo, questa strada risulta di durata molto più breve rispetto al contattare l'attuale fornitore di AMR e pensare all'acquisto o al noleggio di uno shuttle aggiuntivo.

In molte realtà le scelte aziendali virano sempre per l'utilizzo di scaffalature tradizionali con attività svolte manualmente dagli operatori. Si ha paura che qualche problema al sistema blocchi completamente tutte le attività. Il ragionamento ha senso finché le attività sono gestite senza un sistema informativo in quanto i problemi riscontrati sono esattamente i medesimi. Un eventuale problema alla connessione bloccherebbe il gestionale rendendo così non visibili tutti gli ordini e le liste ad essi associati.

3.3 CREAZIONE DEL MODELLO

Il modello nasce da esperienze lavorative condotte in varie tipologie di magazzino, il tempo passato ad osservare le attività e ad ascoltare i feedback degli operatori ha portato alla ricerca di una soluzione alle inefficienze nelle macroattività, analizzando nel dettaglio ogni microattività.

3.3.1 LAYOUT AS IS

Inizialmente ci si è dedicati al disegno del layout ottimo per entrambi i casi, le scaffalature scelte sono strutture leggere a tre livelli. Il primo livello rispetta un'altezza di sicurezza per prevenire la salute fisica dell'operatore di 300 mm, il secondo ed il terzo livello, invece, si trovano rispettivamente ad un'altezza di 1150 e 2000 mm.

La luce tra i livelli è di 800 mm e di 1240 mm tra le spalle con uno spessore dei correnti pari a 50 mm.

La capacità di stoccaggio di ogni livello è di 45 box, 5 pile da 9 colli l'una; gli spazi garantivano l'inserimento di un'ulteriore pila e anche del decimo collo in altezza, così facendo però si otteneva una composizione senza nessun tipo di spazio utile alla presa del collo.

Si è prestata attenzione in ragione della salute fisica dell'operatore, non solo per l'altezza minima prelevabile, ma anche per l'altezza massima, l'ultimo livello infatti avrà pile con meno colli rispetto ai primi due, con quattro box si arriverà ad un'altezza di 2320 mm raggiungibile facilmente dall'operatore con uno sgabello con ruote a scomparsa.

La larghezza delle corsie pari a 1000 mm garantisce il passaggio delle gabbie e lascia spazio di sicurezza nei casi in cui ci sia qualche errore umano nella manovra dei mezzi di movimentazione.

La scelta dei mezzi di movimentazione è stata presa per riportare il più possibile il modello ai casi reali più efficienti già visti, infatti, l'adozione di gabbie metalliche nei magazzini porta a miglioramenti significativi in termini di sicurezza, organizzazione e efficienza. Queste strutture, robuste e versatili, proteggono le merci e gli operatori, prevenendo incidenti e semplificando il processo di prelievo grazie a una chiara organizzazione dello spazio. Adattabili a diverse esigenze, le gabbie metalliche supportano carichi pesanti e resistono all'usura, rappresentando un investimento duraturo. Inoltre, facilitano le operazioni di carico e scarico, interagendo efficacemente con attrezzature meccaniche come transpallet e carrelli elevatori, e contribuendo così a un ambiente di lavoro più sicuro, ordinato e produttivo.

Per la determinazione dell'orientamento delle scaffalature si è preso come punto di riferimento la presenza di quattro pilastri centrali che spaccano l'area di interesse, i primi disegni sono stati implementati disponendo le scaffalature parallelamente al lato lungo, successivamente sono state fatte anche delle prove per confutare il fatto che fosse la scelta migliore. La nuova ipotesi pur trovando adattamento all'ulteriore vincolo della distanza tra i pilastri ha portato ad un aumento delle corsie.

Avere numerosi corridoi, o corsie, in un magazzino può introdurre diverse complicazioni che incidono sull'efficienza e sull'ottimizzazione dello spazio. Prima di tutto, più corridoi significano spesso una maggiore frammentazione dello spazio disponibile, che può portare a una riduzione dell'area totale dedicata all'effettiva conservazione delle merci. Questo si traduce in una minore capacità di stoccaggio, un aspetto che ogni gestore di magazzino cerca di massimizzare.

Inoltre, con l'aumento del numero dei corridoi cresce anche la complessità nella gestione dei flussi di movimentazione all'interno del magazzino. Ogni corridoio richiede accessi, punti di svolta e spazi adeguati per la manovra dei mezzi di movimentazione. Questo può rendere più complesse e lente le operazioni di prelievo e deposito delle merci, influenzando negativamente sui tempi di esecuzione degli ordini.

In aggiunta, la presenza di molti corridoi può complicare la logistica interna, rendendo più difficile per gli operatori localizzare e raggiungere rapidamente le merci desiderate. Questo aspetto si riflette non solo in una minore efficienza ma anche in un aumento del rischio di errori durante le operazioni di prelievo.

Per questi motivi, la scelta finale è stata quella di organizzare le corsie in modo parallelo al lato lungo del perimetro dell'area di magazzino. Questa configurazione permette di massimizzare lo spazio di stoccaggio disponibile, ottimizzando l'uso dell'area complessiva. Le corsie lunghe e parallele favoriscono inoltre un flusso di movimentazione più diretto e meno frammentato, facilitando gli spostamenti all'interno del magazzino e riducendo i tempi di percorrenza tra una zona e l'altra. In sintesi, una tale disposizione contribuisce a creare un ambiente di lavoro più organizzato, efficiente e sicuro, ottimizzando sia lo spazio che i tempi operativi.

Il risultato finale è stato quello di otto corsie tagliate perpendicolarmente due volte da corridoi atti ad agevolare il passaggio degli operatori tra i corridoi rendendo così il percorso ottimo più breve, quattordici facciate sulle quali effettuare operazioni di prelievo e deposito ed un totale di 338 scaffali e 37.180 box.

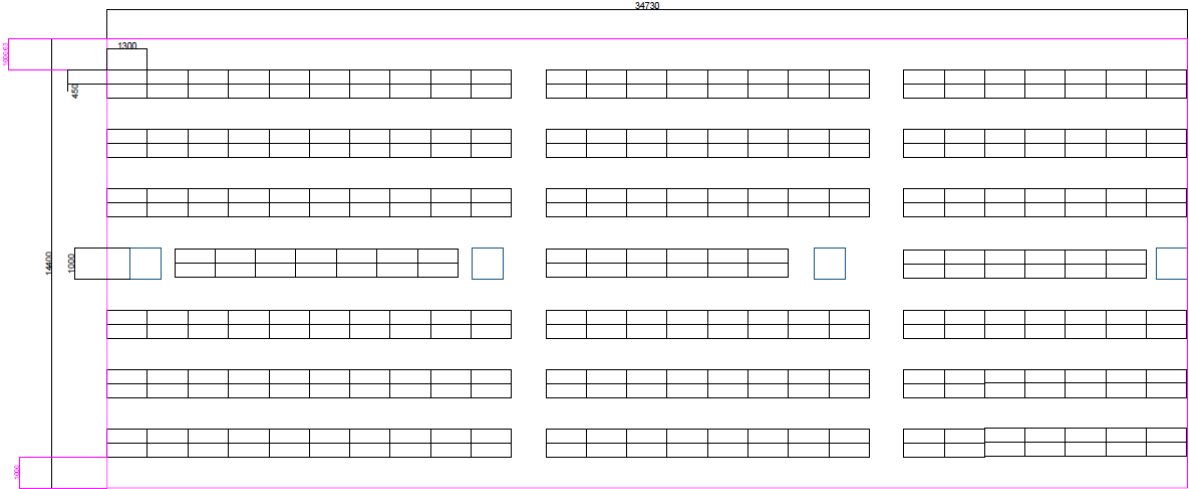


Figura 4 - Layout caso as is.

3.3.2 LAYOUT TO BE

Per quanto riguarda l'implementazione del nuovo modello con AMR il punto di inizio è stato quello di ideare la configurazione di una struttura che permettesse di avere dei vani singoli per box così da risolvere l'inefficienza della ricerca dei codici corretti tra quelli presenti nelle scaffalature.

Con un posto assegnato a ogni articolo, gli errori di selezione si riducono drasticamente. Questo sistema semplifica il compito degli operatori, che possono individuare e raccogliere rapidamente l'articolo desiderato, garantendo così la correttezza degli ordini e la soddisfazione del cliente.

L'ottimizzazione dello spazio è un altro punto di forza. Queste strutture sono concepite per sfruttare al meglio lo spazio disponibile, sia in altezza che in profondità. In questo modo, è possibile stoccare un maggior numero di prodotti, rispondendo efficacemente alla crescente necessità di gestire un ampio inventario in spazi limitati.

La protezione dei prodotti è un altro aspetto cruciale. I vani individuali offrono una maggiore sicurezza per le merci, proteggendole da danni accidentali. Questo è particolarmente rilevante per articoli fragili o di alto valore, che necessitano di una cura particolare durante lo stoccaggio e la movimentazione.

Infine, l'accessibilità diretta a ogni singolo prodotto senza la necessità di spostare altri articoli migliora notevolmente l'efficienza delle operazioni di prelievo e deposito, contribuendo a ridurre i tempi di attesa e a migliorare la fluidità dei processi logistici.

Per concludere, la scelta di adottare strutture di immagazzinamento con vani dedicati risponde a un'esigenza di precisione, efficienza e flessibilità nella gestione dei magazzini moderni, dove l'obiettivo è ottimizzare ogni aspetto delle operazioni per rispondere in modo efficace e tempestivo alle richieste del mercato.

I vincoli tenuti in considerazione sono stati quelli dell'altezza minima per passaggio dell'AMR e per la salute dell'operatore, dell'altezza massima e dello spazio per gestire al meglio il prodotto all'interno del vano.

La configurazione è stata quella di una struttura con quattro montanti d'appoggio, 18 livelli suddivisi in 5 vani e doppia facciata. Ogni vano ha un'altezza di 120 mm, 100 mm utili allo stoccaggio del box e 20 mm occupati dal led per il Pick to Light, per quanto invece riguarda la larghezza dei vani si è fatto in modo da garantire una presa agevole del box, destinando così 250 mm per ognuno.

Con il primo livello ad altezza di 300 mm e 18 livelli, si raggiungono i 2460 mm ed una capacità di stoccaggio di 180 box, 90 per facciata.



Figura 5 - Rack: struttura di stoccaggio metallica.

La bozza del layout ha avuto inizio seguendo sempre i quattro pilastri centrali, disponendo tutti i rack uno di fianco all'altro mantenendo una distanza di tolleranza per eventuali errori dell'AMR.

L'ipotesi di riempire completamente il magazzino è stata accantonata molto velocemente, la decisione di non includere almeno tre corridoi principali - due lungo i perimetri destro e sinistro e uno centrale - portava con sé delle considerazioni specifiche, soprattutto in termini di gestione del traffico degli AMR e di sicurezza.

Parlando della gestione del traffico degli AMR, un layout senza corridoi chiaramente definiti può rappresentare una sfida. In un ambiente così densamente occupato dalle strutture di stoccaggio, gli AMR devono navigare in uno spazio estremamente limitato. Questo potrebbe aumentare il rischio di congestione, specialmente in momenti di picco operativo quando numerosi AMR sono in funzione contemporaneamente. La mancanza di corridoi predefiniti potrebbe portare a percorsi inefficaci e allungati, con gli AMR che devono compiere movimenti complessi per aggirare gli ostacoli, riducendo così la loro efficienza complessiva. Inoltre, senza corridoi che fungano da 'autostrade' all'interno del magazzino, diventa più complesso coordinare i movimenti degli AMR per prevenire collisioni e garantire un flusso di traffico fluido.

Sul fronte della sicurezza, l'assenza di corridoi chiari ha implicazioni significative. In primo luogo, in caso di emergenza, l'evacuazione del personale potrebbe essere complicata. I corridoi non solo facilitano la movimentazione quotidiana delle merci ma fungono anche da vie di fuga sicure. Senza di essi,

determinare il percorso più rapido e sicuro verso le uscite di emergenza potrebbe diventare problematico. Inoltre, in un layout così congestionato, l'accesso per la manutenzione degli AMR e delle strutture di stoccaggio potrebbe essere ostacolato, rendendo più difficile eseguire controlli di sicurezza regolari e interventi di manutenzione, che sono essenziali per prevenire incidenti e garantire un ambiente di lavoro sicuro.

Mentre un magazzino che massimizza lo spazio eliminando i corridoi potrebbe sembrare efficiente in termini di capacità di stoccaggio, le sfide legate alla gestione del traffico degli AMR e alla sicurezza del personale sono aspetti critici che devono essere attentamente valutati. La presenza di corridoi ben definiti facilita una navigazione più efficiente e sicura per gli AMR e assicura vie di fuga chiare, contribuendo a mantenere un ambiente di lavoro sicuro ed efficiente.

Per questi motivi si è deciso di creare tre corridoi ciascuno con larghezza di 1200 mm, due nel perimetro ed uno centrale.

Dopo tutti i ragionamenti e le possibili disposizioni i rack installabili risultano essere 234 e i box 42.120. Conclusa la fase di progettazione e determinazione del layout ottimo il task è stato quello di analizzare nel dettaglio le attività di prelievo e deposito, andando a scomporre il tutto in microattività ed assegnando ad ognuna i secondi necessari per completarla, dedicandosi prima alla situazione tradizionale, senza automatismi aggiunti e solo in seguito al caso con AMR.

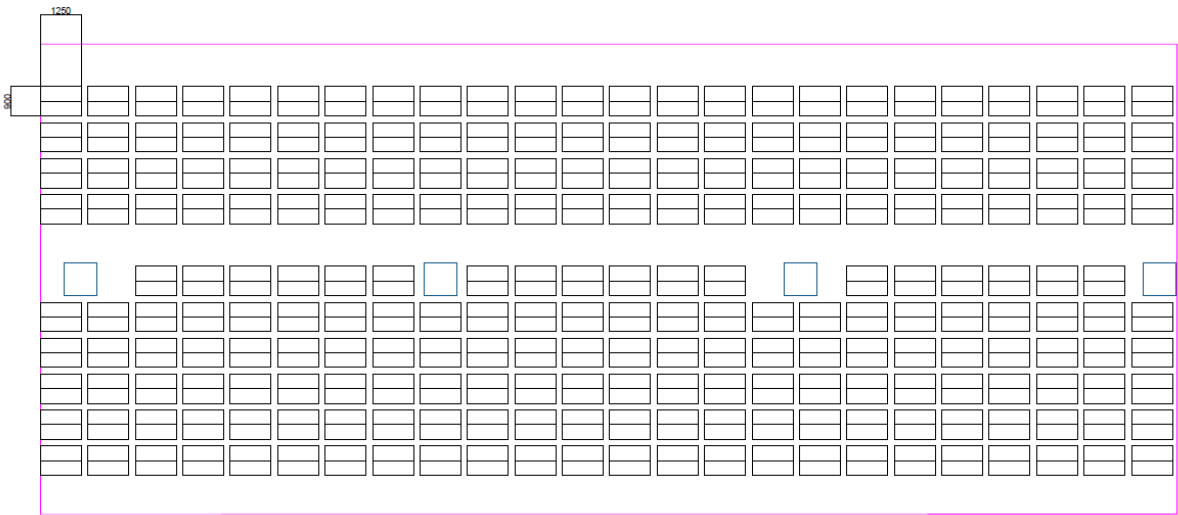


Figura 6 - Layout caso to be.

3.3.3 ANALISI ATTIVITÀ AS IS

Per entrambe le condizioni la prima attività svolta è quella di deposito, riportare il livello dello stock tale da poter far fronte all'evasione degli ordini è necessario.

Il deposito inizia con la presa della gabbia piena da parte dell'operatore, a seguito della lettura con il terminale della lista di deposito si procede in direzione del vano per il deposito. Nel modello la scelta sul vano per il deposito è libera, ricadrà sull'operatore la scelta dello scaffale libero per lo stoccaggio della merce.

Ogni qual volta l'addetto sceglie il vano, inquadrerà prima la sua etichetta e prima di depositare fisicamente il collo segnerà a sistema il codice depositato tramite la lettura del codice a barre. Terminato il deposito dei colli presenti nella gabbia, chiuderà la lista, riposizionerà il mezzo vuoto nell'apposita area e ripeterà il tutto.

Il prelievo segue la stessa logica, inizia con la presa da parte dell'operatore del mezzo di movimentazione, inquadra la lista di prelievo e conferma l'avvio, a questo punto la lettura dell'ubicazione prossima mette in movimento l'operatore verso il vano obiettivo. Il tempo speso per gli spostamenti arriva dal rapporto tra distanza media percorsa (zona cross e punto medio del magazzino) e la velocità dell'operatore, considerata di 0,8 m/s ovvero, 2,88 km/h.

Arrivato al punto di prelievo l'operatore inquadrerà l'etichetta dell'ubicazione, leggerà il codice da palmare e lo cercherà tra quelli presenti nel vano, una volta trovato ne inquadrerà l'etichetta e lo posizionerà fisicamente nella gabbia metallica. Confermato il deposito nella gabbia, con la lettura del prossimo vano si rinizierà il ciclo che si ripeterà fino a che la lista sarà consumata dai prelevabili.

Terminato l'elenco delle sequenze, al totale è stata aggiunta una parte di inefficienza dovuta all'operatore del 13%.

Quando si tratta di dimensionare le attività lavorative e determinare il numero di persone necessarie per portarle a termine, è essenziale considerare non solo il tempo teorico impiegato per svolgere un'attività, ma anche diverse fonti di inefficienza che incidono sulla produttività effettiva. Queste inefficienze, infatti, giocano un ruolo chiave nel calcolo degli FTE (Full Time Equivalents) necessari.

Considerando, ad esempio, le pause regolamentari, che sono un aspetto fondamentale del benessere dei lavoratori. In una tipica giornata lavorativa di otto ore, la normativa prevede delle pause, tra cui quella principale di 30 minuti. Questa pausa obbligatoria incide sul tempo lavorativo disponibile, sottraendo un 6,25% del totale. È un aspetto che non può essere trascurato nella pianificazione delle risorse umane, poiché riduce direttamente il tempo disponibile per il lavoro produttivo.

Ma le pause non sono l'unico fattore di inefficienza. Bisogna considerare anche i brevi momenti in cui gli operatori soddisfano bisogni fisiologici al di fuori delle pause programmate. Anche se di breve durata, queste interruzioni si sommano nel corso della giornata, influenzando ulteriormente sulla produttività complessiva.

Inoltre, non si può ignorare il tempo "morto" che si verifica all'inizio e alla fine di ogni turno. Questo include la preparazione iniziale, il riavvio dei sistemi, i briefing tra i turni e le procedure di chiusura. Anche se questi momenti sono essenziali per il buon funzionamento delle operazioni, non contribuiscono direttamente alla produzione.

Le interazioni sociali non legate al lavoro rappresentano un'altra forma di inefficienza. Queste interazioni, come scambiare due chiacchiere o condividere un aggiornamento personale, sono naturali e contribuiscono a mantenere un ambiente lavorativo positivo. Tuttavia, rappresentano una deviazione dal lavoro produttivo e, come tali, devono essere considerate nella pianificazione del lavoro.

Infine, è importante tenere conto delle variazioni individuali nella produttività. Ogni persona ha un ritmo di lavoro unico, influenzato da fattori come la salute, il morale, le competenze e l'esperienza. Queste differenze naturali significano che il tempo necessario per completare le stesse attività può variare da un individuo all'altro.

Per questi motivi, quando si dimensionano le attività, si tende ad aggiungere un margine di inefficienza, come in questo caso del 13%, per tenere conto di tutte queste variabili. Questo margine, che include il 6,25% delle pause regolamentari, aiuta a garantire che la pianificazione delle risorse sia realistica e tenga conto sia delle esigenze operative che del benessere dei dipendenti.

Il tempo totale per concludere il deposito di 3000 unità in ingresso e per evadere la stessa quantità di colli in uscita è risultata essere pari a 13,16 ore e 10,68 ore. Un totale di tre FTE (Full Time Equivalent).

3.3.4 ANALISI ATTIVITÀ TO BE

Lo spaccettamento delle attività nel caso automatizzato ha avuto lo stesso procedimento, con l'unica differenza che oltre all'analisi del trasporto del rack alla zona del cross è stata analizzata anche la sequenza di operazioni svolte dall'AMR.

La missione di prelievo nel caso automatizzato non comprende la presa del mezzo di movimentazione ed oltre l'attesa del primo rack appena avviata la prima lista di prelievo, non ci si ferma mai se non per scelte personali dell'operatore.

Una volta che lo shuttle porta nella zona del cross docking il rack, indipendentemente si tratti di una lista di prelievo o deposito, la scelta iniziale era quella di far sì che l'operatore impossibilitato ad accedere al prelievo della seconda facciata rimanesse fermo e che la struttura venisse ruotata dall'AMR una volta esaurita dei colli prelevabili.

Il problema di tutto ciò era il tempo speso dall'AMR in attesa della conclusione del prelievo di una facciata per avere l'input di ruotare la struttura e in aggiunta della nuova attesa per il completamento della seconda facciata.

La soluzione a questa inefficienza è stata quella di creare due stazioni di stop per i rack per ogni operatore preventivato, ed installarci sulla base una piattaforma roteante a comando, in questo modo lo shuttle, una volta movimentata la prima struttura non rimarrà in attesa, ma si muoverà verso lo stock successivo, l'addetto una volta terminata la prima facciata, attiverà la piattaforma che ruoterà la struttura e permetterà il prelievo della seconda facciata. Il tempo necessario all'operatore per completare il prelievo di entrambe le facciate è maggiore del tempo impiegato dall'AMR per riportare la struttura già lavorata nella sua posizione del magazzino e prelevare la successiva e portarla nella stazione.

Il motivo per il quale l'operatore è impossibilitato ad accedere alla seconda facciata è perché le aree dedicate al movimento di veicoli automatici come gli AMR (Autonomous Mobile Robots) e gli AGV (Automated Guided Vehicles) sono spesso delimitate e resi inaccessibili agli operatori umani per diverse ragioni importanti. Queste misure sono principalmente volte a garantire la sicurezza, l'efficienza e l'ottimizzazione dello spazio.

La sicurezza è la preoccupazione principale: questi robot si muovono secondo percorsi e tempi prestabiliti, e l'interazione con gli umani potrebbe portare a incidenti o infortuni. Delimitare queste aree aiuta a prevenire collisioni e assicura che gli operatori non entrino inavvertitamente nel percorso dei veicoli.

Inoltre, mantenere gli operatori fuori da queste zone consente ai veicoli di operare senza interruzioni, aumentando l'efficienza del magazzino. Gli AMR e gli AGV possono spostarsi liberamente e con precisione, ottimizzando i tempi di trasporto e riducendo i tempi morti.

Infine, segregare fisicamente le aree di lavoro tra umani e robot permette un utilizzo più razionale dello spazio. I percorsi dei robot possono essere progettati per minimizzare l'ingombro e massimizzare l'uso dello spazio disponibile, il che è cruciale in ambienti dove l'ottimizzazione dello spazio è fondamentale.

In sintesi, la delimitazione delle aree nei magazzini automatizzati serve a creare un ambiente di lavoro più sicuro, efficiente e organizzato, dove robot e umani possono operare efficacemente senza interferire l'uno con l'altro.

Sono state fatte delle importanti ipotesi anche sul numero di item prelevabili dalle strutture leggere per ogni missione nel caso manuale e dai rack nel caso automatizzato.

Ogni rack è capace di avere a stock 180 colli, esattamente 90 per facciata, di questi 180 colli sono stati considerati prelevabili in media 15 box, 7,5 box per facciata. Lo stesso rapporto dei prelevabili per rack è stato usato per stabilire il numero di colli prelevabili in media da ogni scaffale sui tre livelli disponibili, 9,17 risultano essere i box prelevabili.

I valori appena definiti hanno determinato di conseguenza il tempo di alcune microattività soprattutto nel caso manuale. Nel dimensionamento delle missioni di prelievo ciò che ha impattato maggiormente è stata la dimensione del mezzo di movimentazione e del numero di prelevabili da ogni campata. Aumentando infatti il numero di colli per missione, ovvero, numero di colli stoccabili sulla gabbia metallica, il numero

di volte che l'operatore aveva la necessità di dirigersi all'area di scarico del mezzo sarebbe stato inferiore, ragionamento analogo per il numero di colli prelevabili da ogni scaffale. Aumentando il numero di colli prelevabili l'operatore avrebbe ridotto le ubicazioni tra le quali spostarsi ed il numero di volte per inquadrare l'etichetta dell'ubicazione.

Il dettaglio sulle microattività dell'AMR ha tenuto conto anche del numero di rack che durante il prelievo o il deposito risultavano essere un ostacolo da liberare per poter accedere a quello di interesse, il tutto calcolato con una velocità di movimento del mezzo di 1,6 m/s.

Il peggiore dei casi per la movimentazione delle strutture di stoccaggio da parte degli AMR è quanto si hanno due ostacoli di cui liberarsi prima di avere accesso al target, il processo svolto dalla macchina considerato è un susseguirsi di operazioni, al netto della crociera per arrivare al punto prefissato e del movimento in direzione del cross, quali sollevamento, posizionamento in corsia del rack di intralcio, abbassamento, riposizionamento verso altro rack da liberare, sollevamento, posizionamento di quest'ultimo in corsia, abbassamento, movimentazione del rack obiettivo, posizionare in corsia, riallocazione delle strutture in corsia nel utili alla missione e infine riposizionamento per il sollevamento verso cross.

Tutta questa successione di task ha una probabilità del 18% ed occupa alla macchina 71,250 secondi, gli altri due casi, ovvero con un ostacolo e senza ostacoli hanno una probabilità del 38% e del 44% con un tempo richiesto di 54,188 e 31,125 secondi.

TEMPO MEDIO IMPIEGATO DA AMR			
NUMERO VAN	%	TEMPO OCCUPATO	RELATIVO
102	44%	31,125	13,57
89	38%	54,1875	20,61
43	18%	71,250	13,09
			47,270
Porta finito e riprende quello successivo			60,395

Tabella 1 - Tempo di movimento AMR.

Il tempo medio necessario all'AMR per il movimento di un rack è pari a 47,270 secondi e aggiungendo il riposizionamento nell'area di stock di uno già esaurito del prelievo o del deposito, arrivati a regime durante l'attività, è pari a 60,395 secondi.

Raggiunta l'efficienza target durante il processo, l'operatore occupa esattamente 125,430 secondi per completare il prelievo di un rack e 148,030 per depositare in media 15 colli nella struttura. La differenza

consiste nel fatto che durante la fase di stoccaggio l'operatore deve inquadrare il codice del prodotto prima di inserirlo nel vano per comunicare quale codice si sta gestendo.

Se nel caso manuale l'inefficienza è stata considerata per tutte le microattività, portando l'attività di prelievo a 13,16 ore e l'attività di deposito a 10,68 ore per esaurire tutte le liste di deposito e prelievo, nel caso automatizzato l'inefficienza ha segnato ed intaccato solo le attività svolte dall'operatore e non quelle dell'AMR. In questo ultimo caso il numero di ore necessario per terminare il processo di deposito è di 8,11 ore e 7,12 per il processo di prelievo.

L'inefficienza sul totale risulta essere inferiore, esattamente pari a 11,07%.

L'ultimo step per quanto riguarda la progettazione è stato fatto più per avvalorare quanto determinato e predisporre il progetto per sviluppi futuri, nei quali la ricerca del dettaglio e la raccolta di una base dati ne fanno da padrona.

La creazione di un modello di simulazione, utilizzando strumenti come Arena, per valutare e dimensionare le attività di magazzino, come il prelievo e il deposito, rappresenta un approccio estremamente valido e spesso necessario per diverse ragioni.

Innanzitutto, si pensi alla complessità intrinseca delle operazioni di magazzino. Queste attività non si limitano a semplici movimenti di merci da un punto A ad un punto B, ma sono influenzate da una miriade di variabili: dai tempi di attesa ai percorsi degli operatori, dalla gestione delle scorte alla programmazione dei carichi di lavoro. Un modello di simulazione consente di rappresentare questa complessità in un ambiente controllato, dove ogni elemento può essere analizzato e compreso nei minimi dettagli.

La simulazione offre, poi, la possibilità di esplorare scenari "what-if". Cosa accadrebbe se aumentasse il numero di ordini in ingresso? Eventuali gusti che presentano qualche frequenza prevedibile? Utilizzando Arena, si ha la possibilità di creare diversi scenari in modo rapido ed economico, senza rischiare di interrompere le operazioni reali. Questo aspetto è fondamentale per testare varie strategie e identificare quelle più efficaci, ottimizzando così le risorse disponibili.

Un altro vantaggio significativo è la capacità di prevedere e mitigare i rischi. Attraverso la simulazione, è possibile identificare i colli di bottiglia, le inefficienze e i potenziali punti di fallimento prima che diventino problemi concreti. Questo permette di intervenire preventivamente, migliorando la resilienza e l'affidabilità del sistema di magazzino.

Inoltre, la simulazione facilita la comunicazione e la comprensione tra le varie parti interessate. Un modello visivo e dinamico può aiutare manager, operatori e stakeholder a comprendere meglio le operazioni di magazzino, facilitando la discussione e la collaborazione nella ricerca delle soluzioni più adeguate.

Infine, ma non meno importante, c'è l'aspetto dell'innovazione. La simulazione spinge a pensare in modo critico e creativo, stimolando la ricerca di soluzioni innovative per migliorare le operazioni di magazzino.

Che si tratti di implementare nuove tecnologie o di rivedere i processi esistenti, la simulazione fornisce una base solida e flessibile per l'innovazione.

Quindi, l'utilizzo di un modello di simulazione come Arena per analizzare e dimensionare le attività di magazzino è non solo giustificato, ma spesso indispensabile. Offre una comprensione profonda delle dinamiche operative, consente di esplorare scenari alternativi, prevedere e mitigare i rischi, migliorare la comunicazione tra le parti interessate e stimolare l'innovazione, contribuendo in modo significativo all'ottimizzazione delle operazioni di magazzino.

Nel contesto dinamico e variabile di un magazzino, l'arrivo degli ordini è tutt'altro che uniforme; è influenzato da una vasta gamma di fattori esterni che portano a fluttuazioni significative nel numero di unità ordinate. Questa realtà richiede un approccio flessibile e adattabile nella modellazione e nell'analisi delle operazioni di magazzino. Utilizzando il software di simulazione Arena, è stata introdotta un'ipotesi aggiuntiva per affrontare questa variabilità, scegliendo di rappresentare gli arrivi degli ordini con una distribuzione probabilistica ben definita.

La distribuzione selezionata per rappresentare gli arrivi degli ordini è stata la distribuzione normale o gaussiana. Questa scelta si basa sull'assunzione che, nonostante le fluttuazioni, la maggior parte degli ordini tende a raggrupparsi attorno a un valore medio, con deviazioni che seguono un andamento prevedibile. Per il nostro modello, abbiamo stabilito una media di 25 arrivi giornalieri. La dimensione di questi ordini segue appunto una distribuzione normale, caratterizzata da parametri specifici di media e deviazione standard.

Per determinare questi parametri, abbiamo formulato delle ipotesi basate sull'analisi del comportamento di prelievo dai rack. Il ragionamento alla base di questa analisi considera che, con una richiesta giornaliera di 3000 unità e un prelievo medio di 15 box per ogni struttura di stoccaggio, il numero di strutture necessarie per soddisfare la domanda quotidiana è di circa 200. Questa stima ha permesso di calcolare il numero massimo di rack che il magazzino può effettivamente gestire, determinando così la capacità massima di circa 3500 unità.

La differenza tra il numero medio di unità richieste e il picco massimo gestibile rappresenta un elemento critico del nostro modello; questo "delta" rappresenta il valore di deviazione standard per la distribuzione gaussiana degli arrivi. Questo approccio permette di catturare la variabilità intrinseca nella dimensione degli ordini, garantendo che il modello possa adeguatamente riflettere le fluttuazioni realistiche osservate nelle operazioni quotidiane del magazzino. Inoltre, il modello è stato progettato per controllare e, se necessario, rigenerare gli ordini che superano i limiti di dimensione stabiliti, assicurando che le simulazioni rimangano ancorate a scenari operativi plausibili e gestibili.

Questa metodologia non solo fornisce una base solida per la modellazione e l'analisi delle operazioni di magazzino ma offre anche spunti preziosi per l'ottimizzazione e il miglioramento continuo delle strategie di gestione degli inventari e della logistica.

Per testare ulteriormente la robustezza del modello di magazzino sviluppato in Arena e garantire che fosse adeguatamente equipaggiato per gestire una vasta gamma di scenari operativi, si è deciso di esplorare un approccio alternativo nella modellazione degli arrivi degli ordini. Oltre alla distribuzione normale precedentemente adottata, si è introdotta la distribuzione uniforme come meccanismo per rappresentare gli ordini in ingresso. Questa decisione è stata guidata dalla volontà di valutare come il sistema avrebbe reagito in condizioni di variabilità degli ordini meno prevedibile rispetto alla normale distribuzione gaussiana.

La distribuzione uniforme, a differenza della normale, assegna la stessa probabilità a tutti i valori all'interno di un intervallo definito, prescindendo da un picco centrale di frequenza più alta. Questo approccio ha permesso di simulare un ambiente in cui gli arrivi degli ordini non seguono un modello concentrato attorno a una media, ma possono variare liberamente all'interno di un range, riflettendo potenzialmente situazioni di picco o cali improvvisi della domanda che potrebbero non essere catturati da una distribuzione normale.

Per implementare questa variazione, come per la distribuzione normale è stato definito un intervallo minimo e massimo per gli arrivi giornalieri degli ordini, mantenendo un occhio alla realtà operativa del magazzino e ai limiti di capacità precedentemente stabiliti. Le simulazioni sono state poi eseguite utilizzando questi nuovi parametri, offrendoci l'opportunità di osservare le dinamiche del sistema sotto un set di condizioni completamente diverso.

L'analisi dei risultati ha fornito intuizioni significative sulla flessibilità e l'adattabilità del modello. Sorprendentemente, nonostante la diversa natura della distribuzione degli ordini in ingresso, i KPI chiave, come i tempi di attesa medi e i tassi di utilizzo delle risorse, hanno mostrato variazioni minime rispetto ai risultati ottenuti con la distribuzione normale. Questa coerenza nel comportamento del modello sottolinea la sua robustezza e la sua capacità di gestire vari tipi di fluttuazioni nella domanda, fornendo una conferma rassicurante della validità e dell'affidabilità delle simulazioni condotte.

In definitiva, l'integrazione della distribuzione uniforme nell'analisi ha arricchito la comprensione della resilienza del sistema di magazzino modellato, dimostrando che il modello può efficacemente supportare la pianificazione e la decisione operativa anche in scenari di estrema variabilità degli ordini in ingresso. Questo livello di robustezza è fondamentale per sviluppare strategie di gestione del magazzino che siano non solo efficaci sotto condizioni medie o tipiche ma anche resilienti di fronte a scenari imprevedibili o estremi, garantendo così un flusso operativo costante e affidabile.

Dopo aver accuratamente delineato i vari aspetti dei modelli di magazzino, esplorando i diversi layout, le diverse procedure di prelievo e deposito e confrontando distribuzione normale e distribuzione uniforme per rappresentare gli arrivi degli ordini, si è giunti ad un punto cruciale dell'analisi. Non resta che procedere al confronto diretto dei KPI (Key Performance Indicators) selezionati, al fine di valutare con precisione l'efficacia e l'efficienza dei due modelli. Questo passaggio è fondamentale per comprendere

non solo come ciascuna distribuzione influenzi le operazioni quotidiane del magazzino, ma anche per identificare quale dei due approcci fornisca la migliore performance sotto vari aspetti operativi.

La comparazione dei KPI permetterà di trarre conclusioni informate riguardo la resilienza del sistema alle fluttuazioni della domanda, la sua capacità di mantenere livelli ottimali di servizio al cliente, e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse. Attraverso questo confronto, si intende non solo evidenziare i punti di forza e di debolezza di ciascun modello ma anche fornire spunti concreti per ulteriori miglioramenti e ottimizzazioni. Nel prossimo segmento dell'analisi, verrà affrontata quindi nel cuore del confronto tra i due modelli, mettendo a fuoco i KPI scelti e valutando con attenzione come ciascuna distribuzione degli ordini in ingresso impatti sulle prestazioni complessive del magazzino. Questo permetterà di fare luce sul modello più adeguato per garantire un funzionamento efficace ed efficiente del magazzino, anche di fronte alle inevitabili incertezze del contesto operativo.

3.4 KPI

Per confrontare in maniera efficace i due modelli di magazzino - uno tradizionale con prelievo e deposito manuale e l'altro automatizzato con l'ausilio di AMR – sono stati selezionati una serie di Key Performance Indicators (KPI) che permetteranno di valutare in modo dettagliato e quantitativo le prestazioni di ciascun sistema. Questi KPI sono stati scelti per la loro rilevanza nel riflettere aspetti cruciali dell'efficienza operativa, della produttività e del coinvolgimento del personale. Di seguito, un'analisi più approfondita di ciascun indicatore:

1. Volume di Stoccaggio: rappresenta la capacità complessiva del magazzino di ospitare merci, misurata in termini di spazio utilizzabile. Questo indicatore è fondamentale per valutare l'efficienza dello sfruttamento dello spazio in entrambi i modelli e per determinare come l'automazione possa influenzare la densità di stoccaggio.

Nel caso manuale la capacità di stoccaggio resa possibile dalle scaffalature leggere è pari a 37.180 box mentre nel caso automatizzato con l'utilizzo di strutture studiate e create appositamente per le esigenze del progetto è di 42.120. L'aumento dei volumi stoccabile con le stesse condizioni al contorno per quanto riguarda l'area di interesse è importante, le 4.940 unità corrispondono ad un valore percentuale del 11,72% rispetto alla situazione di partenza;

2. Coefficiente di superficie: si riferisce alla proporzione dell'area effettivamente occupata dalle strutture di stoccaggio rispetto all'intera superficie disponibile del magazzino. Questo indicatore è cruciale per valutare l'efficienza nell'utilizzo dello spazio, un aspetto fondamentale nell'ottimizzazione dei processi di magazzino. Un alto coefficiente di superficie indica un utilizzo intensivo dello spazio disponibile, mentre un valore più basso potrebbe suggerire la presenza di

aree inutilizzate o inefficientemente sfruttate. Analizzare il coefficiente di superficie nei due modelli di magazzino permetterà di comprendere come l'automazione influisce sull'ottimizzazione dello spazio e sulla capacità di stoccaggio complessiva. Un'efficienza superiore in questo ambito può tradursi in una riduzione dei costi operativi e in una maggiore capacità di adattamento alle fluttuazioni della domanda. Nel confronto tra il modello di magazzino manuale e quello automatizzato, l'automazione emerge come fattore chiave nell'ottimizzazione dello spazio: il coefficiente per il modello manuale è di 0,399, a fronte di un più efficiente 0,531 nel modello automatizzato. Questa differenza riflette la capacità dell'automazione, tramite l'uso di AMR, di migliorare significativamente l'utilizzo dello spazio, aumentando la capacità di stoccaggio e riducendo i costi operativi.

3. Dimensionamento forza lavoro: Il numero di operatori necessari per mantenere efficienti le operazioni quotidiane di un magazzino è un indicatore chiave non solo della forza lavoro richiesta, ma anche dell'efficienza operativa e della scalabilità del sistema. In un sistema di magazzino tradizionale, dove il prelievo e il deposito sono eseguiti manualmente, il numero di operatori necessari tende ad essere più elevato a causa della natura intensiva del lavoro richiesto. Ogni operatore è responsabile per l'esecuzione fisica delle operazioni di movimentazione delle merci, il che può limitare la velocità e l'efficienza complessiva delle operazioni, soprattutto durante i picchi di attività. Nel modello AS IS, nel quale gli operatori si occupano di svolgere tutte le attività inerenti il prelievo ed il deposito, le ore necessarie per terminare le attività sono di 13,16 e 10,68 ore, per un totale di 23,84 ore. Ciò significa che il fabbisogno giornaliero di forza lavoro è pari a tre FTE con turni lavorativi di otto ore. Un'alternativa a ciò potrebbe essere l'utilizzo del part time a sei ore giornaliere con quattro FTE, guadagnando flessibilità per la gestione nelle ore nei casi i volumi in ingresso si riducano, ma anche nel caso opposto, in quanto per ogni ora di straordinario si riesce ad ottenere una forza lavoro maggiore del 25% rispetto al caso in cui si dimensiona il team con tre operatori.

Il caso TO BE ha un bisogno di 7,12 e 8,11 ore per il prelievo ed il deposito per un totale di 15,23 ore che corrispondono ad una forza lavoro di due FTE. Anche per il caso automatizzato una soluzione potrebbe essere quella di avere forza lavoro part time per ottenere una flessibilità migliore per gestire un'eventuale variabilità della dimensione degli ordini. Questa alternativa è preferibile se la presenza di straordinari è frequente, rimanendo all'interno dei limiti di legge di 250 ore annue, il costo orario dello straordinario sostenuto dal datore di lavoro è inferiore rispetto a quello delle ore di lavoro diurne. Alcuni contributi previdenziali e assicurativi fissi che l'azienda paga per i suoi dipendenti quando calcolati su una base fissa considerando le ore regolari, non sono applicabili ad ulteriori retribuzioni, quali appunto agli straordinari.

4. **Produttività:** La produttività relativa alle operazioni di prelievo e deposito è un indicatore fondamentale per misurare l'efficienza con cui gli articoli vengono movimentati all'interno del magazzino. Questo KPI riflette direttamente la rapidità e l'efficacia delle procedure logistiche, influenzando sia la soddisfazione del cliente sia la capacità del magazzino di gestire volumi elevati di ordini. Calcolato in unità/ora è l'indicatore più utilizzato per confrontare le prestazioni degli operatori, è il primo input descrittivo che viene chiarito quando si identifica un'attività, offre un primo concetto sulla complessità o sull'inefficienza della forza lavoro.

Nel contesto di un confronto tra sistemi di magazzino tradizionali e automatizzati, è essenziale considerare come l'introduzione degli AMR possa trasformare le dinamiche di prelievo e deposito. In un ambiente tradizionale, gli operatori sono responsabili di recarsi fisicamente presso le ubicazioni di stoccaggio per prelevare o depositare la merce, un processo che può essere significativamente influenzato dal tempo impiegato per gli spostamenti. Questi tempi di trasferimento, che includono il cammino da una parte all'altra del magazzino, possono accumularsi rapidamente, riducendo la produttività complessiva e aumentando i tempi di esecuzione degli ordini.

Nel modello manuale, la produttività registrata per le operazioni di prelievo e deposito si attesta rispettivamente a 227,93 e 281,01 box all'ora. Con l'introduzione degli AMR, queste cifre subiscono un notevole incremento, raggiungendo rispettivamente i 421,59 e i 369,71 box all'ora. Tale miglioramento si traduce in un aumento della produttività del 84,96% per il prelievo e del 31,57% per il deposito. L'eliminazione dei tempi di spostamento tra le diverse ubicazioni e la riduzione del tempo necessario per individuare i codici specifici sugli scaffali hanno contribuito in modo significativo a questo incremento della produttività.

5. **Numero di AMR:** Il numero di AMR (Autonomous Mobile Robots) richiesti in un magazzino automatizzato è un indicatore chiave per valutare l'investimento iniziale e le implicazioni operative dell'automazione. Questo KPI non solo riflette i costi di acquisto e di integrazione degli AMR nel sistema logistico, ma incide anche sulla gestione quotidiana, inclusi la manutenzione e i requisiti di personale qualificato. Un maggior numero di AMR può significare una maggiore efficienza operativa, ma porta anche a costi di manutenzione più elevati e potrebbe richiedere adeguamenti dell'infrastruttura del magazzino. Pertanto, la valutazione attenta di questo indicatore è essenziale per bilanciare i benefici dell'automazione con i costi associati, garantendo che l'adozione di AMR sia economicamente sostenibile e operativamente vantaggiosa. Nel modello automatizzato il tempo trascorso dal mezzo in attività è di 7,266 ore sulla giornata lavorativa, questo significa che il suo utilizzo per persona è inferiore al 50%. Un singolo AMR riesce a far fronte a due operatori che svolgono in maniera ripetitiva le attività di prelievo e deposito fisico dei colli.

CONCLUSIONE

La ricerca presentata ha esplorato con scrupolosa attenzione l'evoluzione dei sistemi di prelievo e deposito in ambito magazziniero, ponendo un accento particolare sull'incorporazione di soluzioni automatizzate mediante l'utilizzo di Autonomous Mobile Robots (AMR). Attraverso un'analisi comparativa tra l'approccio operativo tradizionale e quello innovativo automatizzato, è stato possibile delineare un quadro chiaro degli impatti significativi derivanti dall'automazione sulle dinamiche operative, sulla gestione dello spazio, sulla forza lavoro e sulla produttività complessiva.

I Key Performance Indicators (KPI) scelti per questa analisi hanno fornito un contributo inestimabile alla comprensione dell'efficacia dell'automazione all'interno dei contesti logistici. Attraverso la misurazione di volumi di stoccaggio, coefficienti di superficie, dimensionamento della forza lavoro e livelli di produttività, è stato possibile quantificare i benefici tangibili portati dall'impiego degli AMR. Questi indicatori hanno evidenziato non solo un miglioramento significativo nell'utilizzo dello spazio, con un incremento del coefficiente di superficie nel modello automatizzato, ma anche una riduzione nel numero degli operatori necessari e un notevole aumento della produttività. In particolare, l'analisi ha messo in luce come l'automazione contribuisca a una riduzione dei tempi morti e a un aumento dell'efficienza nei processi di prelievo e deposito, trasformando radicalmente il modo in cui vengono gestite le operazioni di magazzino.

L'introduzione degli AMR nel tessuto logistico rappresenta un punto di svolta nel modo in cui vengono concepite e realizzate le operazioni di stoccaggio e movimentazione delle merci. Questa evoluzione tecnologica apre la strada a una maggiore scalabilità e flessibilità operativa, permettendo alle aziende di rispondere con maggiore agilità alle fluttuazioni del mercato. La capacità di adattamento offerta dagli AMR si traduce in un vantaggio competitivo significativo, consentendo una gestione più efficiente dei flussi di lavoro e un miglioramento del servizio offerto al cliente finale.

Gli esiti di questa ricerca sottolineano l'importanza di abbracciare l'innovazione e di integrare soluzioni tecnologiche avanzate come gli AMR per affrontare con successo le sfide poste dal contesto industriale contemporaneo. L'adozione di queste tecnologie non solo migliora le prestazioni operative ma segna anche il passaggio verso una nuova era della logistica, in cui l'efficienza, la precisione e l'automazione diventano elementi chiave per il successo aziendale.

In virtù dei dati raccolti e delle analisi effettuate, emerge chiaramente che l'orientamento verso l'automazione e l'uso di tecnologie innovative rappresenta una strategia vincente per le imprese che aspirano a mantenere e rafforzare la propria posizione nel mercato. La direzione intrapresa verso l'ottimizzazione dei processi logistici attraverso l'automazione apre nuovi orizzonti di efficienza e produttività, delineando il percorso per la realizzazione di magazzini sempre più intelligenti, in cui le

operazioni sono guidate da sistemi avanzati in grado di massimizzare le prestazioni e minimizzare gli sprechi. La capacità di innovare e di adattarsi alle nuove tecnologie si conferma, dunque, come un pilastro fondamentale per lo sviluppo e la crescita nel settore logistico, proiettando le aziende verso un futuro in cui l'eccellenza operativa e la sostenibilità del business si fondono in un unico obiettivo strategico.

INDICE FIGURE E TABELLE

Figura 1- Layout per prodotto.....4
Figura 2 - Layout per processo.5
Figura 3 - Layout a punto fisso.7
Figura 4 - Layout caso as is.....41
Figura 5 - Rack: struttura di stoccaggio metallica.43
Figura 6 - Layout caso to be.44

Tabella 1 - Tempo di movimento AMR. 48

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Andrea Payaro (2014), Organizzare il magazzino.
- Lynne Pepall, Daniel J. Richards, George Norman, Giacomo Calzolari (2023), Organizzazione Industriale.
- Fabrice Mocellin (2022), La gestione delle scorte e del magazzino. Metodi logistici per il lean manufacturing.
- Mara Berbamaschi, Angelo Renoldi (2015) Logistica e supply chain management.
- Pareschi A. (2007), Impianti Industriali. Criteri di scelta, progettazione e realizzazione.
- James P. Womack, Daniel T. Jones and Daniel Roos (2007), The Machine That Changed the World.

- [Logistica News | Logistica](#)
- [Mobile Robot \(AGVs, AMRs\) Finder for logistics & manufacturing - Lots of Bots](#)
- [Logisticamente.it | Quotidiano d'informazione sulla logistica e la supply chain](#)