



**Politecnico
di Torino**

Impianti industriali e Sicurezza sul lavoro

Studio di un Sito Logistico-Produttivo

GRUPPO 4

Gianforte Ilaria 298359

Piovano Federico 298028

Predali Stefano 293899

Grosso Dalen 296679

Pilato Martina 297697

Borasi Alice 283794

Vitale Ruben Guido Maria 298609

Sarinena Charlene 321744

Anno Accademico 2023-2024

Indice

1. Introduzione	3
2. Produzione	4
2.1. Processo di Produzione	4
2.2. Volumi di Produzione	6
2.3. Descrizione del ciclo lavorativo	7
2.4. Materie prime	9
2.5. Calcolo Macchinari	9
3. Layout di Produzione.....	11
3.1. Studio del Layout	11
3.2. Celle	12
3.3. Traciatura e Pressopiegatura	13
3.4. Saldatura.....	14
3.5. Assemblaggio.....	14
3.6. Determinazione del ciclo di assemblaggio.....	17
3.7. Imballaggio	20
4. Magazzini	21
4.1. Magazzino Materie Prime	21
4.2. Buffer Intermedi.....	31
4.3. Magazzino Prodotti finiti	34
5. Movimentazione Materiali	38
5.1. Movimenti interni di produzione.....	38
5.2. Ricevimento e Spedizione merci.....	46
5.3. Area di Picking per Assemblaggio.....	52
6. Personale	54
7. Gestione Scarti.....	56
8. Caratteristiche del fabbricato	57
9. Ubicazione.....	59
10. Valutazione dell'investimento	62
11. Continuous Improvement.....	62
11.1. Prestazioni Attuali Stabilimento.....	62
11.2. Lean Manufacturing e Proposte di Miglioramento	64
11.3. Spaghetti Chart.....	65
12. Conclusione.....	66

1. Introduzione

Il presente documento costituisce la relazione tecnico-illustrativa relativa allo studio di fattibilità per la realizzazione di uno stabilimento logistico produttivo dedicato alla produzione di macchine agricole, nello specifico si riferisce alla produzione di due distinti tipi di macchinari: trinciatutto per arbusti e fresatrici per terreni.



Macchina Fresatrice per Terreni



Macchina Trinciatutto per Arbusti

L'obiettivo di questo progetto è la progettazione di uno stabilimento efficiente e funzionale, in grado di gestire la produzione e la distribuzione dei prodotti richiesti.

Le principali aree in cui si articolerà lo stabilimento sono:

- Area traciatura
- Area pressopiegatura
- Area saldatura
- Celle per Carter
- Magazzino materie prime
- Magazzino prodotti finiti
- Aree di buffer
- Aree di servizio
- Area di picking

Lo stabilimento sarà progettato per massimizzare l'efficienza operativa, garantire la sicurezza dei lavoratori e ottimizzare al meglio lo spazio disponibile. Saranno implementati sistemi per il monitoraggio e il controllo delle attività produttive.

Dopo aver descritto ogni parte dello stabilimento e il suo funzionamento operativo, saranno presentati una sezione relativa ai possibili miglioramenti futuri in ottica di Lean Manufacturing e una stima dell'investimento totale.

Per meglio comprendere quanto viene descritto e menzionato è consigliabile osservare il disegno del plant layout generale. Infine, le procedure di calcolo eseguite, le assunzioni e i risultati ottenuti non sono stati raggruppati in un unico capitolo, ma ciascuna sezione del documento è completa di formule e dati numerici utilizzati. In ciascuna sezione sono quindi riportati, sotto forma di immagine, solo i risultati più significativi, presi da fogli di calcolo impiegati a parte.

2. Produzione

2.1. Processo di Produzione

La produzione si articola principalmente in quattro fasi distinte, le quali consentono di trasformare materie prime e componenti acquistati esternamente al fine di ottenere il prodotto finito.

Ciascuna fase del processo è caratterizzata da un coefficiente di qualità, che indica quale percentuale dei prodotti viene scartata, perché considerata non conforme alle specifiche indicate.

1. La prima lavorazione è la Tranciatura: il foglio di lamiera viene posizionato sulla punzonatrice e tagliato secondo le dimensioni indicate.
2. Successivamente si procede alla Presso-piegatura: in questa operazione i componenti tranciati vengono lavorati da una presso piegatrice al fine di ottenere i carter, le staffe di rinforzo e le piastre di attacco trattore.
3. La terza lavorazione è la Saldatura: i semilavorati precedentemente ottenuti vengono saldati in appositi box di saldatura per formare la struttura di base del telaio completo.
4. L'ultima operazione è l'Assemblaggio: in questa operazione il telaio completo viene assemblato, tramite una linea manuale, insieme ai componenti "buy" acquistati dall'esterno (albero di trasmissione, ruote dentate cilindriche, ruote coniche e albero completo di frese o di martelli). Si ottiene così il prodotto finito pronto per la vendita.

Per agevolare la comprensione di tale processo produttivo, ci è stata fornita la distinta base dei quattro prodotti. Questo documento svolge un ruolo cruciale nella gestione delle risorse e nella pianificazione del progetto, fornendo un elenco dettagliato dei materiali, dei componenti e delle risorse necessari per l'esecuzione del lavoro. La sua funzione principale è quella di identificare e catalogare in modo completo e ordinato tutti gli elementi che costituiscono il prodotto finito, consentendo di delineare accuratamente le attività e i volumi necessari alla produzione dei prodotti indicati: la fresatrice per terreni e il trinciatutto per arbusti, ognuno disponibile nelle lunghezze di 1500 e 1750 mm.

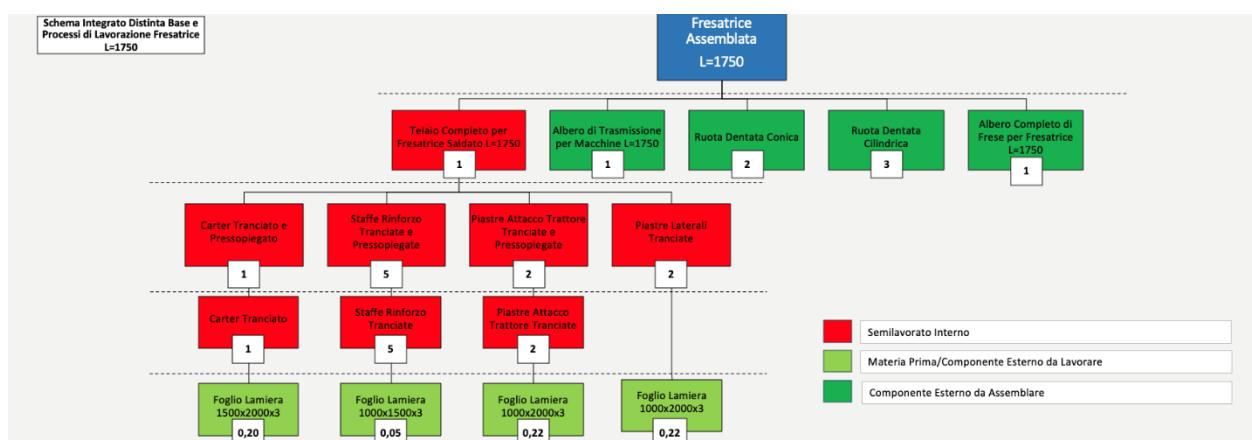
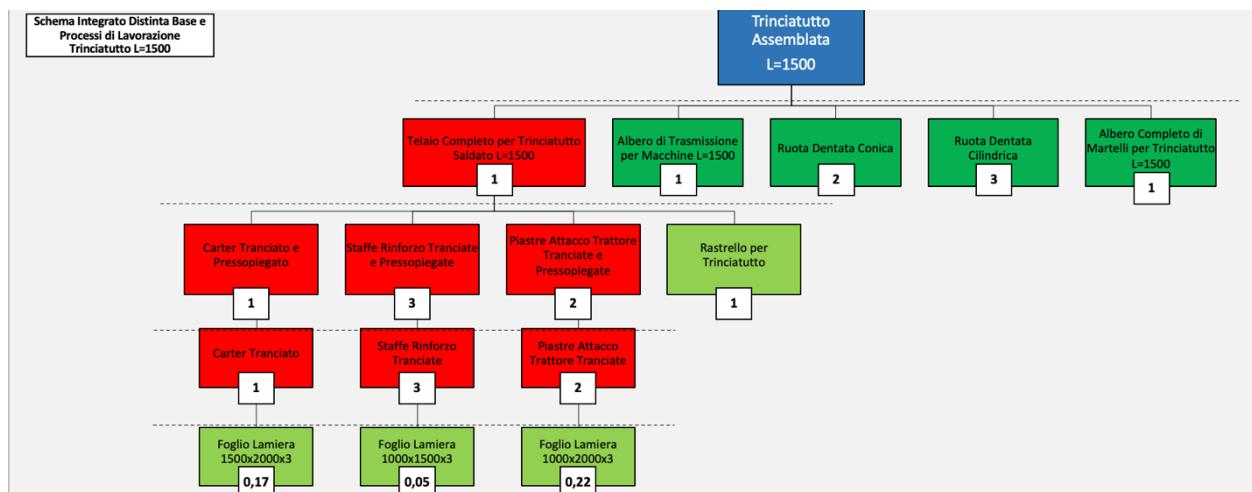
Ciascun componente è associato ad un numero, indicativo del suo livello nella distinta base. La disposizione gerarchica di questi livelli nella struttura complessiva del prodotto finito permette di identificare le relazioni padre-figlio tra i vari componenti. Inoltre, ad ogni componente è assegnato un codice identificativo univoco, che consente di distinguere tra componenti acquistati esternamente e componenti ottenuti attraverso delle lavorazioni interne all'azienda. Infine, la distinta base riporta il coefficiente di utilizzo di ciascun componente, consentendoci di determinare la quantità necessaria per ottenere l'elemento successivo nel processo di produzione.

Per illustrare meglio quanto detto finora, riportiamo di seguito i livelli costituenti la distinta base, per una delle due tipologie di fresatrici:

LIVELLO DISTINTA BASE	CODICE	DESCRIZIONE	COEFF.
1	INTASS001	FRESATRICE COMPLETA L=1500	
2	INTSAL001	TELAIO COMPLETO PER FRESATRICE L=1500	1
3	INTPSP001	CARTER L=1500	1
4	ESTLAM001	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3	0,17
3	INTPSP003	STAFFE RINFORZO	3
4	ESTLAM002	FOGLIO LAMIERA 1000x1500x3	0,05
3	INTPSP004	PIASTRE ATTACCO TRATTORE	2
4	ESTLAM003	FOGLIO LAMIERA 1000x2000x3	0,22
3	INTTRA001	PIASTRE LATERALI	2
4	ESTLAM003	FOGLIO LAMIERA 1000x2000x3	0,22
2	ESTALB001	ALBERO DI TRASMISSIONE PER MACCHINE L=1500	1
2	ESTING001	RUOTA DENTATA CONICA	2
2	ESTING002	RUOTA DENTATA CILINDRICA	3
2	ESTASS001	ALBERO COMPLETO DI FRESE PER FRESATRICE L=1500	1

Livelli distinta base e coefficienti di utilizzo per fresatrice 1500

Partendo da questo documento, abbiamo creato uno schema integrato per ogni prodotto, che include la distinta base e i processi di lavorazione che le materie prime e i semilavorati subiscono ad ogni livello. A seguire, riportiamo un esempio per ciascuna famiglia di prodotti:



Il flusso di lavorazione inizia dal basso, con le materie prime acquistate dall'esterno, evidenziate in verde chiaro. Nei due livelli successivi troviamo, in rosso, i semilavorati processati internamente, ovvero i fogli lamiera tranciati e presso-piegati. Salendo, troviamo in verde scuro le materie prime acquistate esternamente, da assemblare direttamente al telaio completo per ottenere il prodotto finale.

Come possiamo notare, i due prodotti presentano alcune differenze significative nel processo di lavorazione.

Nella fresatrice per terreni, la fase di saldatura comprende anche le piastre laterali, ottenute mediante la sola tranciatura di fogli lamiera. Contrariamente, nella saldatura del telaio completo per la trinciatutto, ai componenti interni si aggiunge un quarto elemento acquistato esternamente: il rastrello per trinciatutto.

Inoltre, i due prodotti differiscono per un altro componente importante: nell'assemblaggio della fresatrice è utilizzato l'albero completo di frese, mentre per la trinciatutto è richiesto l'albero completo di martelli.

2.2. Volumi di Produzione

Per ottenere la produzione giornaliera tipo, sono stati analizzati i dati della produzione annua fornita, dividendo i pezzi annuali richiesti per ciascuna macchina per i giorni lavorativi annui, cioè 220. Sapendo che in proporzione i modelli di lunghezza 1500 mm sono il 70% del totale e quelli da 1750 mm rappresentano il 30%, è stato possibile stabilire la produzione giornaliera per ogni misura di ciascun modello. I risultati sono riportati nella tabella seguente.

	TRINCIATUTTO	FRESATRICE
PRODUZ. ANNUA	190000	200000
PRODUZ. BASE GIORNALIERA	864	909
PRODUZ. L=1500	605	636
PRODUZ. L=1750	259	273

Seguendo le indicazioni forniteci, abbiamo successivamente calcolato la domanda di prodotti richiesta e il conseguente ritmo di produzione mensile.

$$P_i = 2 * \frac{C_m + N_m}{30} * \text{Produzione Base giornaliera}$$

C_m : media dei numeri corrispondenti alle lettere iniziali dei cognomi dei componenti del gruppo.

N_m : media dei numeri corrispondenti alle lettere iniziali dei nomi dei componenti del gruppo.

Produzione Base giornaliera trinciatutto = 864 unità

Produzione Base giornaliera fresatrice = 909 unità

Nella tabella seguente indichiamo i valori ottenuti per le due differenti linee di ciascun prodotto.

Prodotto	Cm	Nm	L=1500	L=1750
Fresatrice per terreni	9,13	13,13	20769	8901
Trinciatutto per arbusti	9,13	13,13	19733	8457

Successivamente, impiegando i coefficienti di utilizzo riportati nei dati del progetto, abbiamo determinato le quantità, mensilmente necessarie, di ogni componente.

Per maggiore chiarezza, riportiamo un estratto dei calcoli svolti per i due modelli differenti delle due linee.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1						CODICE	PADRE	TIPO		DESCRIZIONE				COEF	Q.TA' NETTA (pz/mese)	Q.TA' LORDA (pz/mese)			
2																			
3	UVELLI DI DISTINTA BASE					CODICE	PADRE	TIPO	DESCRIZIONE										
4	1					INTASS001		ART	TRINCIATUTTO COMPLETO L=1500					19.733					
5		2				INTASS001-10	INTASS001	OP	ASSEMBLAGGIO TRINCIATUTTO COMPLETO L=1500					19.733	19.733	0% Scarto			
6			3			INTSAL001	INTASS001	ART	TELAI COMPLETO PER TRINCIATUTTO L=1500					1	19.733	20.344	3% Scarto		
7				4		INTSAL001-10	INTSAL001	OP	SALD. TELAI COMPL CON ATTACCHI TRATTORE L=1500					1	20.344	20.760	2% Scarto		
8						INTPS001	INTSAL001-10	ART	CARTER L=1500					0,17	20.760	20.970	1% Scarto		
9						INTPS001-20	INTPS001	OP	PRESSOPIEGATURA CARTER L=1500						4.194				
10						INTPS001-10	INTPS001-20	OP	TRANCIATURA CARTER L=1500										
11						ESTLAM001	INTPS001-10	ART	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3										

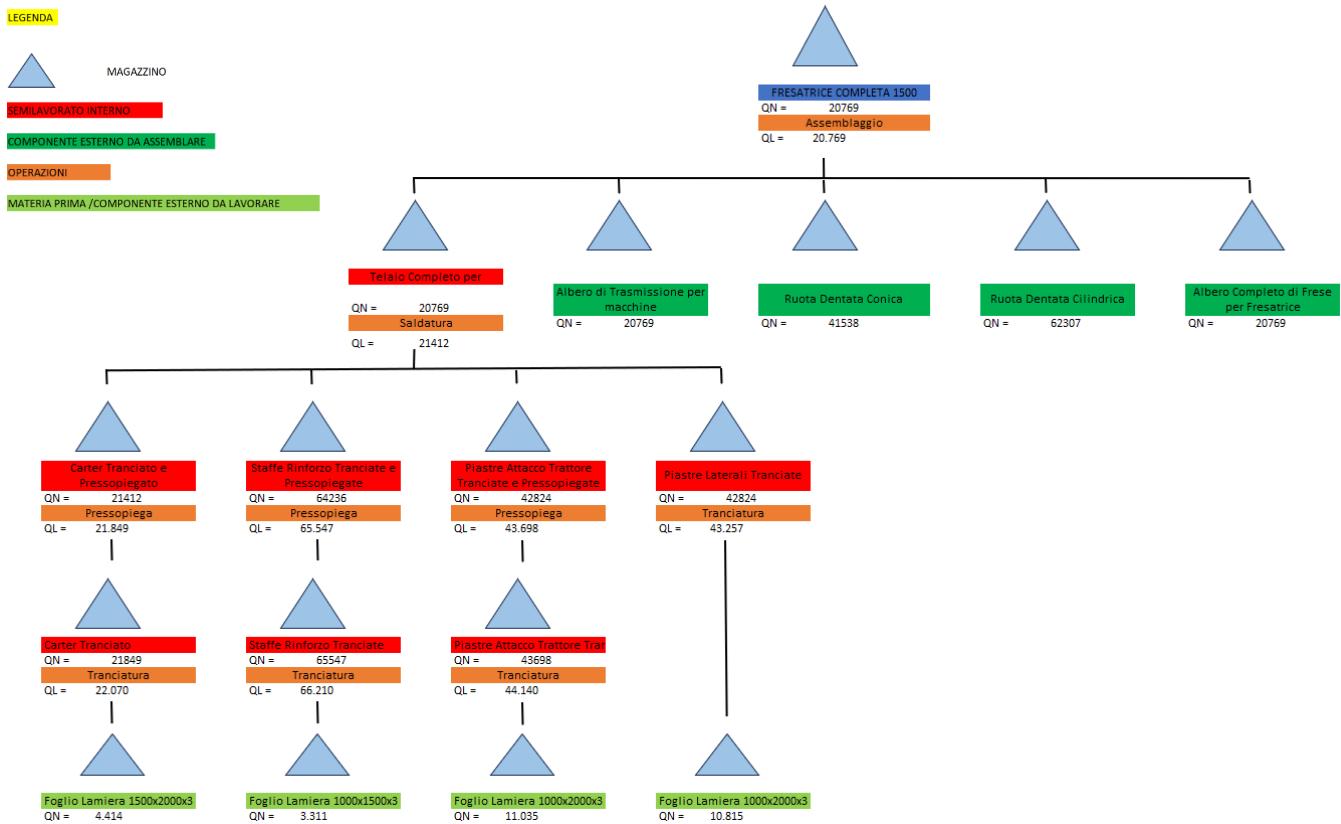
$$=ROUNDUP(P9/0,98 ; 0)$$

$$=ROUNDUP(Q10/INT(1/0,17);0)$$

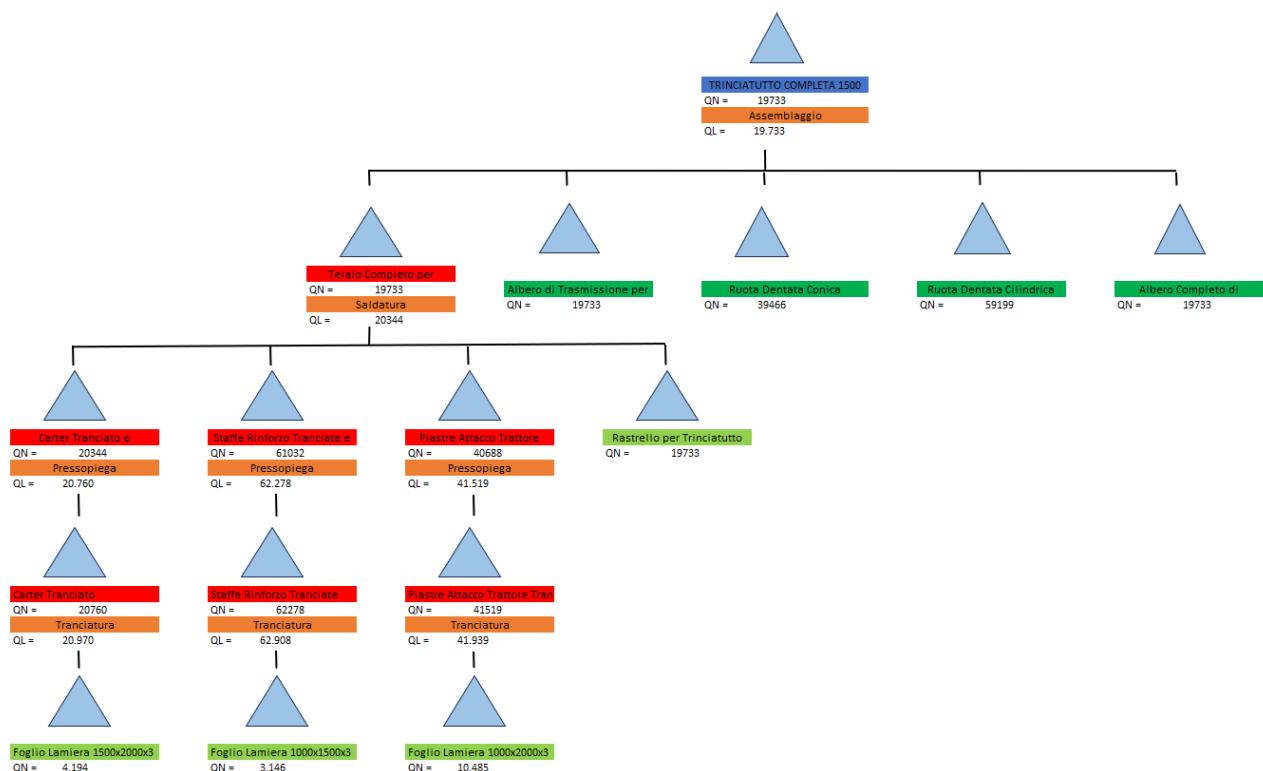
2.3. Descrizione del ciclo lavorativo

Nei diagrammi di seguito abbiamo provveduto a fornire una rappresentazione grafica dei cicli produttivi – uno per ogni linea - e dei flussi di materiali. Le quantità nette sono ottenute sottraendo alle quantità lorde lo scarto che si genera a valle di ciascuna operazione, secondo i tassi di scarto indicati nella tabella seguente.

OPERAZIONE	DISPONIBILITÀ'	SCARTO	PERFORMANCE
Assemblaggio	97 %	0 %	99 %
Saldatura	98 %	3 %	97 %
Presso-piegatura	98 %	2 %	99 %
Traciatura	98 %	1 %	99 %



Descrizione processo produttivo e flussi complessivi mensili per fresatrice 1500



Descrizione processo produttivo e flussi complessivi mensili per trinciatutto 1500

2.4. Materie prime

I componenti necessari per la produzione delle due macchine agricole si dividono in “make” e “buy”:

- I “make” derivano dalle trasformazioni operate internamente all’azienda;
- I “buy” sono componenti che vengono ottenuti a partire dai componenti “make”

Per ogni materiale acquistato vi è un fornitore specifico con il quale si è stabilito un ciclo di consegne, considerando l’intervallo di riordino indicato.

Prodotto	Fornitore
Lamierati	Loghi Fratelli sas
Albero di trasmissione	Torneria Zanichelli Giovanni srl
Ingranaggi	Italgear srl
Albero con frese o con martelli e rastrelliera	O.M.S Steffenini srl

2.5. Calcolo Macchinari

Per dimensionare correttamente il layout dello stabilimento e progettare l’andamento della produzione, è necessario determinare il numero di macchine utili per soddisfare la domanda richiesta.

Dopo aver calcolato la domanda mensile di pezzi che deve produrre ogni operazione, abbiamo calcolato il numero di macchine effettive necessarie per ogni operazione. Al fine di aiutarci nella spiegazione dei calcoli effettuati, alleghiamo un estratto della tabella utilizzata, riguardante l’assemblaggio della fresatrice.

In primo luogo, abbiamo riportato quantità lorde – calcolate in precedenza – e dimensione del lotto, tempo di setup singolo e tempo ciclo – dati dal testo del progetto. Inizialmente abbiamo determinato il tempo potenzialmente disponibile applicando la seguente formula, che tiene conto dei giorni lavorativi in un mese e dei due turni da 7,5 h in un giorno:

$$\text{Tempo Potenzialmente Disponibile} = T_{POT} = 22 \text{ giorni} * 15 \text{ h} * 60 \text{ min}$$

Utilizzando il coefficiente di disponibilità dell’impianto, riportato in precedenza, e moltiplicandolo per il tempo potenzialmente disponibile, è possibile ottenere il tempo disponibile, ovvero il periodo in cui l’impianto è operativo per la produzione.

Il coefficiente di disponibilità è un indicatore percentuale che riflette l’effettiva disponibilità di un impianto per svolgere attività produttive, escludendo il tempo in cui la macchina è ferma a causa di guasti, setup o manutenzioni programmate.

$$\text{Tempo Disponibile} = T_{POT} * \text{Coefficiente di Disponibilità (D)}$$

Successivamente, è stato calcolato il tempo di setup, rappresentante la quantità totale di tempo impiegata per preparare una macchina o un processo produttivo al cambio da un lotto di produzione all'altro.

$$Tempo Totale di Setup = \frac{\text{Totale Produzione}}{\text{Dimensione Lotto in pezzi}} * \text{Tempo di setup singolo}$$

Il calcolo del tempo di setup fornisce un'indicazione del periodo complessivo dedicato alla preparazione e al cambio di produzione tra lotti successivi. Riducendo il tempo di setup, si mira a migliorare l'efficienza del processo produttivo, consentendo una transizione più rapida e fluida tra diversi tipi di produzione. Il calcolo del tempo di setup risulta essere, infatti, un utile strumento per ottimizzare la produzione, riducendo i tempi morti e incrementando la flessibilità del sistema produttivo.

Il tempo effettivamente disponibile, sottratto al tempo di setup, fornisce un'indicazione del tempo netto, ossia il periodo in cui la macchina è operativa esclusivamente per la produzione, senza considerare le attività di setup o preparazione.

$$Tempo Netto = Tempo Disponibile - Tempo Totale di Setup$$

Successivamente, moltiplicando il tempo netto per il coefficiente di performance dell'operazione in questione, è possibile calcolare il tempo di produzione totale grazie al quale si riesce determinare il takt time.

$$Takt Time = \frac{\text{Tempo Netto} * \text{Performance (P)}}{\text{Totale Produzione}}$$

LAVORAZIONE	CODICE	DESCRIZIONE	TIPO FRESATRICE		PRODUZIONE TOTALE CON SCARTI		LOTTO [PZ]	SET_UP [min]	TC [min]	T_POT [min]	T_DISP [min]	T_SETUP [min]	T_NETTO [min]	T_PROD [min]	TAKT TIME	NUM MACCH CALCOL	NUM MACCH EFFET
			L=1500	L=1750													
ASSEMBLAGGIO FINALE	INTASS001-10	ASSEMBLAGGIO FRESATRICE COMPLETA L=1500	20.769		20.769	500	120	2,00	19.800	19.206	4.985	14.221	14.079	0,68	2,95		5
	INTASS002-10	ASSEMBLAGGIO FRESATRICE COMPLETA L=1750		8.901	8.901	215	120	2,00	19.800	19.206	4.968	14.238	14.096	1,58	1,26		

Quantità lorde

Tempo potenzialmente disponibile
(22gg*15h*60)

Il takt time rappresenta il tempo massimo consentito per produrre un'unità in modo da soddisfare la domanda. Il numero di macchine, quindi, è calcolato come il rapporto fra il tempo ciclo e il takt time.

$$\text{Numero Macchine calcolato} = \frac{\text{Tempo Ciclo}}{\text{Takt Time}}$$

Arrotondando per eccesso siamo stati capaci di definire quante macchine per ciascuna lavorazione occorrono. I risultati ottenuti sono illustrati nella seguente tabella.

LINEE DI ASSEMBLAGGIO	9
BOX DI SALDATURA	30
CELLE CARTER	4
PRESSOPIEGHE	7
PUNZONATRICI	10

3. Layout di Produzione

In relazione alle materie prime da processare all'interno dello stabilimento, ovvero i fogli di lamiera, abbiamo esaminato le operazioni richieste, al fine di progettare un'area dedicata per ciascuna lavorazione interna necessaria. Il processo produttivo implica la pressopiegatura, la traciatura, la saldatura e l'assemblaggio.

3.1. Studio del Layout

Per quanto riguarda la scelta del layout, abbiamo deciso di evitare la suddivisione in sezioni distinte per la produzione della triciatutto e della fresatrice. Al contrario, abbiamo optato per un processo unitario di produzione per entrambe le tipologie di macchine agricole e per le rispettive dimensioni dei due modelli. Questa decisione è stata presa con l'obiettivo di massimizzare l'efficienza degli spazi e minimizzare le movimentazioni interne, raggruppando le medesime lavorazioni richieste da ogni prodotto.

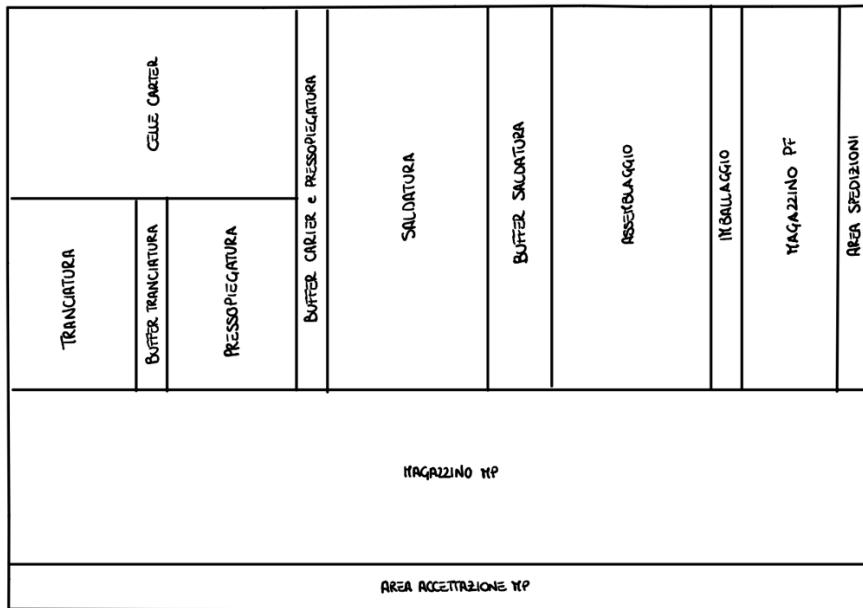
Analizzando la compilazione della distinta base, già discussa in precedenza, abbiamo definito le quantità da produrre mensilmente: per la fresatrice di lunghezza 1500m, la produzione richiesta è uguale a 20769 pezzi, mentre per quella lunga 1750m è di 8901 pezzi. Ancora, la produzione richiesta per la triciatutto da 1500m è di 19733 pezzi e per quella da 1750m è di 8457 pezzi.

Dall'analisi delle fasi del ciclo lavorativo è emerso che non tutte le materie prima presenti in magazzino necessitavano di una lavorazione interna. Al contrario, alcuni materiali potevano essere inviati direttamente all'area finale di assemblaggio.

In particolare, i componenti che richiedono questo trattamento sono quelli acquistati da fornitori esterni e non necessitano di alcun tipo di modifica all'interno dello stabilimento. Tra questi troviamo l'albero di trasmissione, la ruota dentata conica, la ruota dentata cilindrica, l'albero completo di frese per la fresatrice e l'albero completo di martelli per la triciatutto.

Al fine di ridurre la lunghezza degli spostamenti di questi materiali e, di conseguenza, ottimizzare i tempi e i costi dovuti al loro trasporto, abbiamo scelto di adottare un layout a L. In questa soluzione, il magazzino delle materie prime e quello dei prodotti finiti sono posizionati su due lati contigui, nel nostro caso a sud e a est. Questa disposizione avvicina il magazzino delle materie prime all'area di assemblaggio, la quale precede il magazzino dedicato alla raccolta dei prodotti finiti.

Di seguito, riportiamo il layout a blocchi che abbiamo elaborato in fase di progettazione e sul quale abbiamo poi basato lo studio e la realizzazione del layout finale:



Layout a blocchi

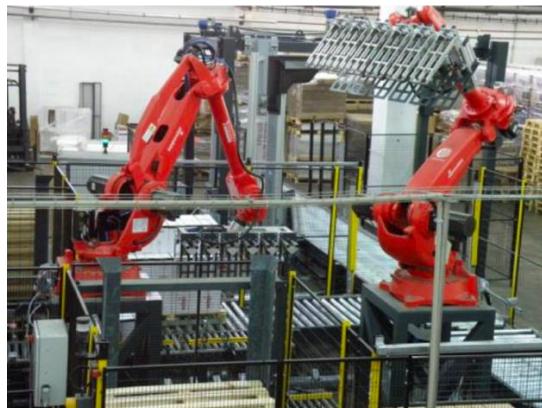
3.2. Celle

I fogli di lamiera necessitano per prima cosa di essere pressopiegati e poi traciati. Per progettare queste due aree di lavoro è stata fatta una scelta a monte, ovvero quella di separare i lamierati destinati alla realizzazione dei carter in celle dedicate. Le motivazioni sono le seguenti: i fogli di lamiera destinati ai carter sono più ingombranti rispetto agli altri, pianificando dunque delle aree dedicate è possibile ridurre lo spazio destinato alle altre punzonatrici e pressopiegatrici che processeranno i lamierati di dimensioni inferiori. Di conseguenza, in un'ottica di ottimizzazione degli spazi, si è in grado di progettare buffer di dimensioni inferiori fra le due lavorazioni, poiché i fogli di lamiera per i carter sono gestiti in celle dedicate. Inoltre, la separazione dei carter in una zona dedicata, riduce la varietà di materiali da processare che i reparti di pressopiegatura e di traciatura devono affrontare, diminuendo così i tempi di set up necessari per i cambi d'impostazione della macchina dovuti dalla diversa configurazione del pezzo.

Scegliendo questa disposizione, tutte le lavorazioni dei carter sono spedite a 4 celle, ognuna composta da una macchina punzonatrice, una pressopiegatrice, un banco d'appoggio e un braccio meccanico. Dopo che le operazioni di pressopiegatura e traciatura all'interno della cella sono svolte, viene raccolto esternamente ciascun pezzo e raggruppato in lotti destinati all'apposito buffer.

In particolare, all'interno della cella, verrà disfatta l'UDC e sarà prelevata una lamiera che verrà indirizzata verso le macchine di traciatura e di pressopiegatura. È opportuno sottolineare che tale operazione non potrà essere affidata all'operatore, in quanto il peso di una singola lamiera ammonta a circa 70kg, superando nettamente la portata massima consentita per il sollevamento manuale da parte di una singola persona. Pertanto, è stato necessario considerare una soluzione meccanica per garantire un processo di prelievo sicuro ed efficiente.

Abbiamo optato per l'utilizzo di un braccio robotizzato per facilitare lo spostamento del pezzo e garantire maggiore precisione. Infatti, il braccio consente una presa sicura e stabile sulla lamiera, evitando il rischio di caduta. Inoltre, garantisce un'elevata precisione che permette un posizionamento accurato del pezzo. Un altro vantaggio di questa soluzione è la programmabilità del robot che consente di ottimizzare il processo, garantendo che ogni movimento sia ripetuto in modo affidabile e senza errori, contribuendo a una produzione più efficiente e di qualità.



Braccio Robotizzato

Il braccio consentirà quindi il posizionamento del pezzo sulle macchine di traciatura e pressopiegatura. Successivamente, sarà in grado di collocare il pezzo lavorato su un banco designato, sul quale verrà posizionato un cassone di metallo contenente l'equivalente di un'unità di carico (UDC) per la raccolta dei pezzi. Questo processo consentirà di riformare l'unità di carico, la quale verrà successivamente inforcata da un carrello e trasportata al buffer successivo per il proseguimento delle operazioni.



Contenitore industriale in metallo

3.3. Traciatura e Pressopiegatura

Per le aree di traciatura e pressopiegatura dei restanti lamierati, destinati alla produzione di staffe e piastre, abbiamo scelto di adottare un layout a reparti, cioè singole postazioni che lavorano singolarmente per processare i pezzi. Questa soluzione conferisce maggiore flessibilità al sistema produttivo rendendolo più adatto al caso specifico caratterizzato dalla produzione di prodotti differenti. Inoltre, questa organizzazione permette di gestire in modo efficiente eventuali guasti delle singole unità operative, evitando di fermare l'intera produzione e intervenendo solo sulle specifiche macchine interessate in quanto le lavorazioni sono smaltite su più macchine in parallelo.

In particolare, per ciascuno dei 10 reparti dedicati alla traciatura, è stato previsto un braccio robotizzato che si occuperà di prelevare il materiale dalle UDC e posizionarle sulla punzonatrice. Analogamente al caso delle celle, la scelta del braccio è stata determinata dalla necessità di gestire il sollevamento di lamierati con peso superiore ai 35kg, azione che risulterebbe impraticabile mediante il solo sollevamento manuale. Una volta ultimata la lavorazione, il materiale processato verrà riposto tramite i bracci all'interno del cassone con dimensioni corrispondenti alle UDC per procedere al buffer successivo.

Nella zona di pressopiegatura, il prelievo dei materiali dalle UDC sarà di nuovo affidato a bracci robotizzati, i quali verranno installati uno per ognuno dei 7 reparti. Il loro utilizzo risulta ancora una volta necessario perché i carter provenienti dal buffer destinati alla pressopiegatura sono di circa 25kg, peso superiore alle capacità di sopportazione di un operatore lungo un intero turno. Inoltre, il braccio faciliterà il trasporto dei carter pressopiegati e la composizione delle UDC all'interno del contenitore destinato al buffer seguente. Il restante materiale da pressopiegare, di peso nettamente inferiore, verrà gestito manualmente dall'operatore nella postazione che si occuperà sia del prelievo sia dalla composizione dell'UDC successiva una volta ultimata la lavorazione.

3.4. Saldatura

Tutti i materiali che richiedono lavorazioni interne (prodotti make) devono essere sottoposti a saldatura. Data la varietà dei prodotti, abbiamo ritenuto opportuno adottare un layout a reparti per motivazioni esplicate in precedenza.

Nell'area di saldatura, quindi, è necessario prelevare dalle UDC in arrivo: i carter, le staffe di rinforzo, le piastre attacco trattore, le piastre laterali per la fresatrice e i rastrelli per la trinciatutto. Al fine di gestire il peso considerevole di carter e rastrelli, il prelievo di questi elementi e il posizionamento sulla macchina saranno affidati a bracci robotizzati, uno per ciascun dei 30 reparti di saldatura. Gli altri materiali saranno prelevati manualmente dall'operatore direttamente dalle UDC, posizionandoli successivamente sulla macchina di saldatura.

Al termine della lavorazione, il braccio robotizzato si occuperà della movimentazione del telaio completo prelevandolo dalla macchina di saldatura e riponendolo all'interno di un contenitore di metallo per creare una nuova UDC.

3.5. Assemblaggio

L'ultima lavorazione necessaria per la realizzazione del prodotto finito è l'assemblaggio. Qui vengono assemblate insieme le materie prime processate all'interno dello stabilimento (prodotti make) e quelle acquistate dall'esterno (prodotti buy).

Il layout adottato per questa lavorazione è un layout in linea, ovvero una sequenza di quattro stazioni lavorative per ogni linea. Infatti, abbiamo optato per questa soluzione considerando che l'assemblaggio segue un flusso di lavoro sequenziale. La disposizione in linea, inoltre, offre il vantaggio di poter ridurre i tempi di ciclo complessivi, poiché i pezzi avanzano senza interruzioni da una postazione all'altra senza la necessità di spostamenti ulteriori.

Inoltre, abbiamo adottato linee di assemblaggio dedicate per ciascun modello, potendo così azzerare i tempi di setup senza dover modificare le impostazioni della macchina o interrompere il flusso.

Per migliorare ulteriormente il tempo ciclo complessivo, abbiamo ottimizzato l'allocazione delle operazioni su ciascuna postazione della linea, mirando a ridurre il tempo ciclo specifico di ogni singola postazione.

I criteri di questa scelta sono dettagliati nella sezione successiva: “[Determinazione del ciclo di assemblaggio](#)”. In particolare, abbiamo ridotto il tempo di assemblaggio della fresatrice da 2 minuti a 1,80 minuti e da 2 minuti a 1,70 minuti per la trinciatutto.

Questa ottimizzazione ha permesso di saturare ogni postazione, riducendo il numero di linee necessarie per l'assemblaggio. Nello specifico, per la fresatrice si è passati da 5 a 3 linee, mentre per la trinciatutto si è ridotto da 4 a 3 linee. Questa diminuzione, non solo è vantaggiosa per l'ottimizzazione degli spazi, ma contribuisce anche alla riduzione dei costi e all'efficienza complessiva del processo.

Scenario ottimizzato per assemblaggio. Il risultato di 3 macchine effettive è stato ottenuto facendo la scelta di dedicare le macchine ad un singolo prodotto (si eliminano i tempi di setup) e imponendo a 1,80 min il Tempo Ciclo										LOTTO [PZ]	SET_UP [min]	TC [min]	T_POT [min]	T_DISP [min]	T_setup [min]	T_NETTO [min]	T_PROD [min]	TAKT TIME	NUM MACCH CALCOL	NUM MACCH EFFET
LAVORAZIONE	CODICE	DESCRIZIONE	TIPO FRESATRICE		PRODUZIONE TOTALE CON SCARTI															
			L=1500	L=1750																
ASSEMBLAGGIO FINALE	INTASS001-10	ASSEMBLAGGIO FRESATRICE COMPLETA L=1500	20.769		20.769	500	120	1,80	19.800	19.206	0	19.206	19.014	0,92	1,97	2	3			
	INTASS002-10	ASSEMBLAGGIO FRESATRICE COMPLETA L=1750		8.901	8.901	215	120	1,80	19.800	19.206	0	19.206	19.014	2,14	0,84	1	3			

Scenario ottimizzato per assemblaggio. Il risultato di 3 macchine effettive è stato ottenuto facendo la scelta di dedicare le macchine ad un singolo prodotto (si eliminano i tempi di setup) e imponendo a 1,70 min il Tempo Ciclo										LOTTO [PZ]	SET_UP [min]	TC [min]	T_POT [min]	T_DISP [min]	T_setup [min]	T_NETTO [min]	T_PROD [min]	TAKT TIME	NUM MACCH CALCOL	NUM MACCH EFFET
LAVORAZIONE	CODICE	DESCRIZIONE	TIPO TRINCIATUTTO		PRODUZIONE TOTALE CON SCARTI															
			L=1500	L=1750																
SEMMLAGGIO FINALE	INTASS001-10	ASSEMBLAGGIO TRINCIATUTTO COMPLETO L=1500	19.733		19.733	500	120	1,70	19.800	19.206	0	19.206	19.014	0,96	1,76	2	3			
	INTASS002-10	ASSEMBLAGGIO TRINCIATUTTO COMPLETO L=1750		8.457	8.457	215	120	1,70	19.800	19.206	0	19.206	19.014	2,25	0,76	1	3			

Ottimizzazione numero di linee per i due prodotti

La gestione della movimentazione dei materiali destinati all'assemblaggio varia in base alla loro provenienza, comportando differenze rispetto ai casi precedenti. Infatti, oltre ai prodotti "buy" che arrivano direttamente dal magazzino materie prime e dall'area di picking, includiamo i prodotti "make", ovvero telai completi che provengono dal buffer della saldatura.

A monte di ciascuna delle sei linee vengono posizionate due UdC:

- Una contenente i telai necessari per la specifica linea (1500 o 1750)
- Una contenente alberi con martelli o alberi con fresa (in una delle due misure disponibili), a seconda del prodotto da assemblare sulla linea stessa.

Al fine di agevolare il posizionamento del telaio sul trasportatore e coadiuvare il sollevamento dell'albero con frese o martelli, abbiamo previsto l'utilizzo di una gru a bandiera a braccio girevole all'inizio di ogni linea di assemblaggio.



Gru a Bandiera a Braccio Girevole

La gru a bandiera a braccio girevole è uno strumento che consente di gestire carichi di forme irregolari e ingombranti in modo sicuro ed efficiente, riducendo il rischio di incidenti e garantendo fluidità nel processo produttivo.

Inoltre, la sfida legata alla distanza di circa 4 metri tra la zona in cui arrivano le UdC e la linea di assemblaggio è risolta grazie alla lunghezza del braccio della gru.

Questa soluzione è stata preferita rispetto all'adozione di un braccio robotizzato, poiché il secondo è caratterizzato da un raggio d'azione inferiore. La gru, dotata di un braccio più lungo, consente infatti uno spostamento agile e preciso dei materiali.

La gru è quindi responsabile del prelievo dei telai dalle UDC in arrivo dai buffer, oltre che di quello di alberi con frese per fresatrici o di alberi con martelli per trinciatutto. Il loro peso considerevole rende infatti impraticabile la movimentazione manuale.

Inizialmente, la gru solleva il telaio dall'UdC e lo posiziona su un trasportatore a rulli motorizzato di larghezza 1,10 m, progettato per gestire carichi pesanti. Questo sistema è controllato da un quadro elettrico programmabile tramite PLC, il quale consente di spostare il telaio in avanti alla postazione successiva in modo regolare e programmato, secondo il tempo ciclo della linea.

L'operatore, con l'ausilio della gru a bandiera, preleva l'albero con frese o martelli dall'UdC posizionata a monte della linea e lo assembla con il telaio precedentemente posizionato sul trasportatore.

Per garantire l'arrivo degli altri componenti necessari nelle varie postazioni, ogni linea dispone di un rullo motorizzato programmabile con discensore al fondo della linea stessa, che consente il ritorno vuoti su un rullo inferiore con marcia opposta rispetto al primo.

Anche questo sistema di trasporto è automatizzato al fine di consentire un avanzamento coordinato con il tempo ciclo. Le cassette contenenti il necessario per l'assemblaggio di un'unità di prodotto finito (albero di trasmissione e ingranaggi), vengono caricate sul trasportatore e attraversano, in modo intermittente, le varie postazioni.

Nella sua stazione, l'operatore estrae la cassetta e assembla i vari componenti direttamente sul telaio posto sul rullo, eseguendo così le operazioni designate per quella particolare postazione.

Successivamente, la cassetta viene riposizionata sul rullo da cui è stata prelevata, al fine di trasportare alle postazioni successive eventuali residui di componenti.

Infine, le cassette vuote vengono convogliate al fondo della linea, abbassate a livello inferiore tramite un discensore e riportate alla posizione iniziale. Questo processo consente agli addetti di impilare nuovamente le cassette, questa volta vuote. Successivamente, verranno portate indietro nell'area di picking e assemblate per il ciclo successivo.

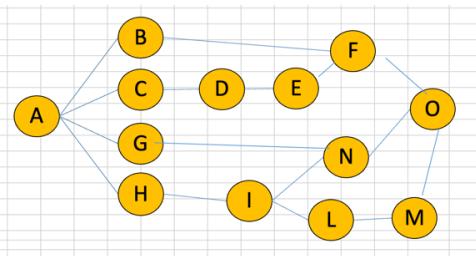
Per ciascuna delle 6 linee di assemblaggio è prevista al fondo una gru a bandiera a braccio girevole per il prelievo della macchina agricola completa, del peso di circa 200kg, e il successivo posizionamento nell'unità di carico corrispondente.

3.6. Determinazione del ciclo di assemblaggio

La seguente sezione è un approfondimento sul ciclo di assemblaggio, in particolare sull'allocazione delle varie attività alle stazioni di lavoro.

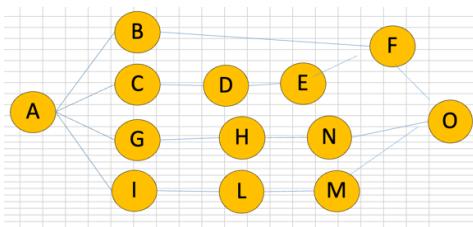
Dopo aver analizzato la lista delle operazioni, una rappresentazione tabellare delle informazioni tecniche di ciascuna operazione, tra cui l'elenco delle precedenze e le tempistiche di esecuzione, abbiamo costruito il grafo delle precedenze per entrambi i prodotti.

COD	DESCRIZIONE	PREC.	MIN.
A	Prelevare complessivo telaio da contenitore e posizionare su attrezzatura	-	0,40
B	Prelevare supporti albero di trasmissione e fissare su telaio	A	0,30
C	Prelevare scatola ingranaggi e fissare su telaio	A	0,40
D	Prelevare raschiaioli e fissare su scatola ingranaggi	C	0,40
E	Prelevare coppia conica e montare entro scatola	D	0,50
F	Prelevare albero di trasmissione e montare	E,B	0,60
G	Prelevare ingranaggi e montare su fianco telaio	A	0,80
H	Prelevare albero con frese e montare su telaio	A	0,60
I	Prelevare garnizioni albero con frese e montare	H	0,40
L	Prelevare coperchio frese e montare su telaio	I	0,80
M	Prelevare registro coperchio frese e montare su telaio	L	0,50
N	Prelevare coperchio ingranaggi laterali e montare su telaio	G,I	0,40
O	Prelevare frese completa e deporre in contenitore	F,N,M	0,40
			6,50



Grafo delle precedenze e relativa tabella del prodotto fresatrice

COD	DESCRIZIONE	PREC.	MIN.
A	Prelevare complessivo telaio da contenitore e posizionare su attrezzatura	-	0,40
B	Prelevare supporti albero di trasmissione e fissare su telaio	A	0,30
C	Prelevare scatola ingranaggi e fissare su telaio	A	0,30
D	Prelevare raschiaioli e fissare su scatola ingranaggi	C	0,50
E	Prelevare coppia conica e montare entro scatola	D	0,50
F	Prelevare albero di trasmissione e montare	E,B	0,50
G	Prelevare chiusura fianco telaio e montare	A	0,40
H	Prelevare ingranaggi e montare su chiusura fianco telaio	G	0,70
I	Prelevare albero con martelli e montare su telaio	A	0,60
L	Prelevare coperchio martelli e montare su telaio	I	0,80
M	Prelevare registro coperchio martelli e montare su telaio	L	0,50
N	Prelevare coperchio ingranaggi laterali e montare su telaio	H	0,40
O	Prelevare trinciatutto completo e deporre in contenitore	F,N,M	0,40
			6,30



Grafo delle precedenze e relativa tabella del prodotto trinciatutto

Sulla base dei vincoli di precedenza, abbiamo determinato per ciascuna operazione i l'insieme delle operazioni che la seguono (Si), sia direttamente che indirettamente. Successivamente, abbiamo calcolato il peso posizionale (“Rank Positional Weight”) di ciascuna operazione, dato dalla somma dei tempi dell’operazione i e di quelle che appartengono all’insieme Si:

$$PW_i = d_i + \sum_{k \in S_i} d_k$$

Di seguito le liste delle operazioni completate di RPW e insiemi delle operazioni, ordinate in base al peso posizionale:

COD	MIN	RPW	COD+SUCC.
A	0,40	6,50	A B C D E F G H I L M N O
B	0,30	1,30	B F O
C	0,40	2,30	C D E F O
D	0,40	1,90	D E F O
E	0,50	1,50	E F O
F	0,60	1,00	F O
G	0,80	1,60	G N O
H	0,60	3,10	H I L M N O
I	0,40	2,50	I L M N O
L	0,80	1,70	L M O
M	0,50	0,90	M O
N	0,40	0,80	N O
O	0,40	0,40	O

COD	MIN	RPW	COD+SUCC.
A	0,40	6,50	A B C D E F G H I L M N O
H	0,60	3,10	H I L M N O
I	0,40	2,50	I L M N O
C	0,40	2,30	C D E F O
D	0,40	1,90	D E F O
L	0,80	1,70	L M O
G	0,80	1,60	G N O
E	0,50	1,50	E F O
B	0,30	1,30	B F O
F	0,60	1,00	F O
M	0,50	0,90	M O
N	0,40	0,80	N O
O	0,40	0,40	O

Lista delle operazioni – fresatrice

COD	MIN	RPW	COD + SUCC.					COD	MIN	RPW	COD + SUCC.
A	0,40	6,30	A B C D E F G H I L M N O					A	0,40	6,30	A B C D E F G H I L M N O
B	0,30	1,20	B F O					I	0,60	2,30	I L M O
C	0,30	2,20	C D E F O					C	0,30	2,20	C D E F O
D	0,50	1,90	D E F O					D	0,50	1,90	D E F O
E	0,50	1,40	E F O					G	0,40	1,90	G H N O
F	0,50	0,90	F O					L	0,80	1,70	L M O
G	0,40	1,90	G H N O					H	0,70	1,50	H N O
H	0,70	1,50	H N O					E	0,50	1,40	E F O
I	0,60	2,30	I L M O					B	0,30	1,20	B F O
L	0,80	1,70	L M O					F	0,50	0,90	F O
M	0,50	0,90	M O					M	0,50	0,90	M O
N	0,40	0,80	N O					N	0,40	0,80	N O
O	0,40	0,40	O					O	0,40	0,40	O

Lista delle operazioni - trinciatutto

Quindi, considerando i vincoli imposti a monte, quali un numero di stazioni di lavoro pari a 4 e un tempo ciclo di 2 minuti per stazione, abbiamo allocato le varie operazioni alle stazioni di lavoro. L'assegnazione è iniziata allocando l'operazione con l'RPW maggiore alla prima stazione; nel caso in cui il tempo necessario all'esecuzione dell'operazione fosse inferiore al tempo ciclo, abbiamo selezionato l'operazione con il successivo peso più alto e l'abbiamo assegnata alla stessa stazione. Abbiamo ripetuto questo procedimento fino a quando la somma dei tempi delle operazioni assegnate alla stazione non ha egualato o superato il tempo ciclo, oppure non è stato possibile assegnare un'altra attività a causa di vincoli di tempo o sequenza. A questo punto, siamo passati ad una nuova stazione di lavoro e abbiamo ripetuto lo stesso procedimento fino a quanto tutte le attività non sono state assegnate.

Per quanto riguarda il prodotto fresatrice, seguendo strettamente l'ordine dato dal RPW e considerando un tempo ciclo di 2 minuti, abbiamo ottenuto un tempo ciclo totale di 8 minuti e una saturazione della manodopera dell'81,25%:

POST_10		POST_20		POST_30		POST_40					
A	0,40	D	0,40	E	0,50	M	0,50				
H	0,60	L	0,80	B	0,30	N	0,40				
I	0,40	G	0,80	F	0,60	O	0,40				
C	0,40										
2,00	1,80	2,00	2,00	2,00	1,40	2,00	1,30	Σ TC	Σ TLAV		
TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	8,00	6,50		
								Saturazione manodopera		81,25%	
								OEE compreso Manodopera		81,17%	

Tuttavia, cambiando l'ordine delle operazioni, pur rispettando i vincoli di precedenza, siamo riusciti ad allocare le operazioni in modo da ridurre il tempo ciclo necessario per ogni postazione e quindi poter considerare un tempo ciclo inferiore pari a 1,8 minuti. Questo ci ha consentito di ottenere un tempo ciclo totale di 7,2 minuti, inferiore agli 8 minuti precedenti e più vicino ai 6,50 di lavoro effettivo, con un conseguente aumento del valore della saturazione della manodopera.

POST_10		POST_20		POST_30		POST_40			
A	0,40	D	0,40	L	0,80	M	0,50		
H	0,60	E	0,50	G	0,80	N	0,40		
I	0,40	B	0,30			O	0,40		
C	0,40	F	0,60						
1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,60	1,80	1,30	ΣTC	ΣTLAV
TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	7,20	6,50
				Saturazione manodopera				90,28%	
				OEE compreso Manodopera				81,17%	

Un ragionamento analogo è stato applicato al caso del prodotto trinciatutto, nel quale, seguendo strettamente l'ordine dato dal RPW e considerando un tempo ciclo di 2 minuti, abbiamo ottenuto sempre un tempo ciclo totale di 8 minuti e una saturazione della manodopera del 78,75%:

POST_10		POST_20		POST_30		POST_40			
A	0,40	G	0,40	E	0,50	M	0,5		
I	0,60	L	0,80	B	0,30	N	0,40		
C	0,30	H	0,70	F	0,50	O	0,40		
D	0,50								
2,00	1,80	2,00	1,90	2,00	1,30	2,00	1,30	ΣTC	ΣTLAV
TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	TC	TLAV	8,00	6,30
				Saturazione manodopera				78,75%	
				OEE compreso Manodopera				74,75%	

Modificando l'ordine delle operazioni e considerando un tempo ciclo di 1,7 minuti abbiamo invece ottenuto un tempo ciclo totale di 6,8 minuti, molto più vicino ai 6,3 minuti di lavoro totali rispetto agli 8 precedenti, con un conseguente netto aumento della saturazione della manodopera.

POST_10		POST_20		POST_30		POST_40			
A	0,40	D	0,50	L	0,80	B	0,30		
I	0,60	H	0,70	M	0,50	F	0,50		
C	0,30	E	0,50	N	0,40	O	0,40		
G	0,40								
1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,20	ΣTC	ΣTLAV
TC	TLAV	TC	TLAC	TC	TLAV	TC	TLAV	6,80	6,30
				Saturazione manodopera				92,65%	
				OEE compreso Manodopera				74,75%	

In entrambi i casi, la riduzione del tempo ciclo ci ha portato ad avere sostanzialmente due vantaggi: in primo luogo una maggiore efficienza della linea, in quanto il tempo non sfruttato nell'impiego della manodopera (dato dalla differenza tra il tempo ciclo totale e il tempo di lavoro totale) è inferiore rispetto al caso base. In secondo luogo, ci consente di ridurre il numero delle macchine impiegate, discorso approfondito nel capitolo dedicato.

3.7. Imballaggio

Al termine delle linee di assemblaggio sono presenti tre imballatrici, una ogni due linee. Ogni imballatrice automatica per pallet è affiancata da un braccio robotizzato.



Imballatrice automatica

Considerando i tempi ciclo dell'assemblaggio di fresatrice e trinciatutto abbiamo stimato che la gru condivisa tra le due linee ha a disposizione circa 60 secondi per spostare il prodotto finito dal termine della linea all'imballatrice. Così facendo abbiamo potuto verificare che il numero di gru e imballatrici scelte per la zona di imballaggio fossero sufficienti.

Inizialmente il braccio robotizzato predispone la macchina imballatrice alla ricezione del prodotto finito, posizionando in maniera precisa un pallet su misura e uno scatolone, precedentemente collocati vicino alla postazione, sulla base dell'imballatrice. La gru a bandiera a braccio girevole preleva quindi il prodotto finito da una delle due linee e lo posiziona all'interno dello scatolone.

Successivamente l'operatore avvia la macchina, la quale grazie ad una rotazione della sua base fascia con termofilm e fissa pallet e scatolone insieme. Il tempo complessivo è quindi determinato dal tempo ciclo delle linee, il quale è decisamente maggiore rispetto al tempo di imballaggio della singola UdC.

L'UdC appena formata viene quindi prelevata tramite un carrello a forche e portata verso il magazzino prodotti finiti nel quale verrà stoccatà.

Al fine di impedire all'operatore di avvicinarsi all'imballatrice durante il processo di imballaggio, adottiamo macchine dotate di un sistema di sicurezza.

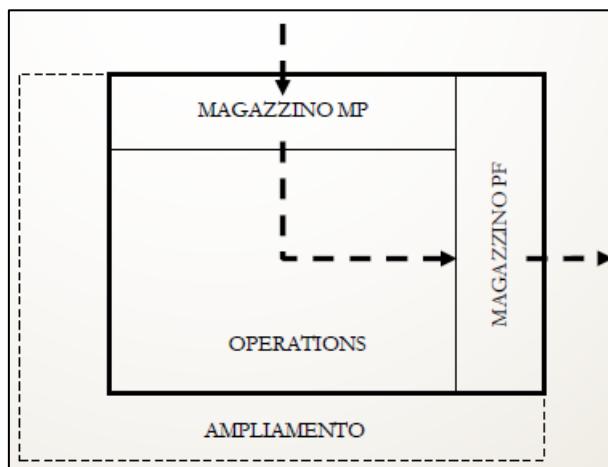
4. Magazzini

Nel seguente capitolo sono descritti nel dettaglio ragionamenti e calcoli sul dimensionamento statico di tutte le zone di stoccaggio dell'impianto. I tre sottocapitoli seguono i tre tipi di magazzino presenti nello stabilimento: magazzino materie prime, buffer intermedi e magazzino prodotti finiti.

4.1. Magazzino Materie Prime

Il primo magazzino a essere dimensionato è stato il magazzino materie prime. Il risultato finale sarà la sintesi di una serie di scelte che cercano il più possibile sia di minimizzare gli oneri sia di massimizzare l'efficienza e l'efficacia del magazzino, componente fondamentale per garantire il corretto funzionamento dell'impianto anche in eventuali situazioni di produzione o disponibilità di materie prime incerte. Un buon numero di queste scelte in fase di design del magazzino è stato fatto facendo riferimento ad alcuni requisiti che la struttura deve necessariamente avere stando alle richieste del progetto, e ciascuna di queste decisioni sarà discussa nei paragrafi successivi.

Il primo aspetto di carattere generale che abbiamo definito è legato al layout generale dell'impianto industriale nella sua interezza. Come già menzionato, il nostro impianto ha un layout ad L, il quale, a differenza per esempio di un layout lineare o di uno ad U, risponde meglio alle nostre esigenze. Se osservati in pianta e semplificati in dei blocchi rettangolari, in questo tipo di layout il magazzino materie prime e il magazzino prodotti finiti formano tra di loro appunto una L, con il reparto di produzione posizionato all'interno di essa.



Schema layout a L

Analizzando la distinta base dei prodotti realizzati nello stabilimento, essa fornisce un quadro semplificato dei movimenti che riguardano il magazzino materie prime. Considerando sia le trinciatutto sia le fresatrici prodotte nello stabilimento, abbiamo notato che le destinazioni dei componenti immagazzinati sono a tutti i livelli della produzione: le lamiere sono trasportate al reparto truciatura o alle celle, alcuni prodotti quali per esempio le ruote dentate o gli alberi di trasmissione raggiungono direttamente la zona di assemblaggio, mentre i rastrelli per trinciatutto passano direttamente al reparto di saldatura. Essendo la direzione della produzione lineare dalla truciatura, prima operazione, all'assemblaggio, ultima operazione, posizionare il magazzino materie prime secondo un layout a L permette di distribuire lungo il lato lungo del reparto di produzione le varie zone di stoccaggio, situazione che risulta particolarmente favorevole perché permette di tenere i diversi componenti in posizioni più prossime alla loro destinazione. Posizionato idealmente il magazzino prodotti finiti in direzione est, le lamiere troveranno quindi posto nella zona più ad ovest del magazzino materie prime, che risulterebbe essere in prossimità delle punzoniatrici per la truciatura. Gli ingranaggi e gli alberi invece saranno posizionati nella zona più ad est del magazzino MP, che idealmente risulta essere più prossima al reparto di assemblaggio.

Con questa scelta, dunque, è possibile diminuire la lunghezza e i tempi di percorrenza dei percorsi seguiti dai mezzi di movimentazione.

Il secondo passo fondamentale per la costruzione del magazzino materie prime è stata la definizione delle quantità da immagazzinare per ciascun prodotto, informazione chiave per stimare la superficie e lo spazio necessario per la struttura. Stando alle richieste del progetto, abbiamo dimensionato il magazzino basandoci sulla quantità massima di unità di carico per ogni prodotto che dovremmo immagazzinare. Tra i dati forniti è stabilito infatti che il riordino delle materie prime avvenga con intervalli di tempo fissi. Tuttavia, essendo per ipotesi anche la domanda di fresatrici e trinciatutto un valore costante, anche la quantità di riordino sarà un valore costante calcolato sul consumo di ciascun componente durante l'intervallo di riordino. Questa quantità, sommata alla scorta di sicurezza (altra quantità calcolabile seguendo le indicazioni fornite dal progetto), rappresenta proprio la quantità massima che il nostro magazzino dovrà essere in grado di contenere per ciascun prodotto. Questo valore altro non è che l'inventario di picco che si registra nel giorno di consegna delle merci. Per quanto riguarda la scorta di sicurezza, essa è calcolata in funzione del consumo di ciascun articolo durante un intervallo di giorni fissato.

Tutti i calcoli riguardanti i fabbisogni mensili e le capacità dei magazzini sono stati svolti, sia per quanto riguarda il magazzino materie prime sia i buffer e il magazzino prodotti finiti, sul foglio Excel denominato *\$_mag_buffer*. A titolo esemplificativo, si riportano i dati relativi a *Foglio di Lamiera 1500x2000x3* e *Foglio di Lamiera 1000x1500x3* svolti per le trinciatutto. Le procedure di calcolo sono analoghe per tutti i componenti nel magazzino materie prime sia relativi alle trinciatutto sia alle fresatrici.

Q.TA' PF (L=1500 + L=1750)	28.190	PZ/MESE	1.281	PZ/G.	330	H/MESE												
Q.TA' PF L=1500	19.733	GG LAVORO/MESE		22	%S.S.	20,0%	FABBISOGNI MENSILI (UDC MOVIMENTATE IN UN MESE)											
Q.TA' PFL=1750	8.457	ORE LAV/GIORNO		15														
CODICI A MAGAZZINO MATERIE PRIME	CODICE	DESCRIZIONE					TIPO TRICHIATUTTO L=1500	L=1750	TOTALE	TIPO UDC	PZ/UDC	NUM. UDC						
CODICI A MAGAZZINO MATERIE PRIME	ESTLAM001	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3					4.194	1.798	5.992	PEDANA	25	240						
	ESTLAM002	FOGLIO LAMIERA 1000x1500x3					3.146	2.247	5.393	PEDANA	25	216						

Calcolo fabbisogni mensili

Il calcolo delle movimentazioni mensili dei materiali si basa sul fabbisogno di ciascuno di essi per produrre il numero richiesto di trinciatutto e fresatrici. Questi dati sono stati calcolati in precedenza, così come i valori della colonna *PZ/UDC* sono valori forniti dal testo del progetto. Considerata la tabella *FABBISOGNI MENSILI*, i valori delle celle nella colonna *NUM. UDC* altro non sono che i valori della colonna *TOTALE* divisi per quelli della colonna *PZ/UDC*. Questi numeri rappresentano il totale delle unità di carico spostate all'interno dello stabilimento in un mese per ciascun prodotto. Ai fini del design del magazzino materie prime, si riveleranno utili in fase di calcolo del numero di mezzi di movimentazione, ma anche per calcolare alcuni valori della tabella *CAPACITÀ MAGAZZINI E BUFFER*.

Q.TA' PF (L=1500 + L=1750)	28.190	PZ/MESE	1.281	PZ/G.	330	H/MESE												
Q.TA' PF L=1500	19.733	GG LAVORO/MESE		22	%S.S.	20,0%	CAPACITA' MAGAZZINI E BUFFER (Q.TA' MAX PER DIMENSIONAMENTO)											
Q.TA' PFL=1750	8.457	ORE LAV/GIORNO		15														
CODICI A MAGAZZINO MATERIE PRIME	CODICE	DESCRIZIONE					LOTTO	SS	TOTALE	NUM. UDC	GG cop	IR						
CODICI A MAGAZZINO MATERIE PRIME	ESTLAM001	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3					2724	817	3541	142	6,5	3,4						
	ESTLAM002	FOGLIO LAMIERA 1000x1500x3					2451	735	3187	128	6,5	3,4						

Calcolo lotto di riordino, scorta di sicurezza, inventario di picco, giorni di copertura e indice di rotazione

La colonna *LOTTO* presenta le quantità di riordino di ciascun componente, espresse in unità. Questi valori sono stati calcolati applicando la formula:

$$\frac{\text{Fabbisogno mensile}}{\text{Giorni lavorativi mensili}} \times \text{Intervallo di Riordino}$$

Il valore del fabbisogno mensile dei vari articoli corrisponde alla colonna *TOTALE* della tabella *FABBISOGNI MENSILI* precedentemente descritta, i giorni lavorativi sono 22 per mese e gli intervalli di riordino sono espressi in giorni (nel caso delle lamiere 10 giorni). La colonna *SS* è riservata al calcolo delle scorte di sicurezza, che sono calcolate per le materie prime utilizzando la stessa formula usata per la colonna *LOTTO*, sostituendo all'intervallo di riordino i giorni di scorta di sicurezza richiesti (nel caso delle lamiere 3 giorni). La colonna *TOTALE* di questa tabella è la somma delle due colonne precedenti, con la colonna *NUM.UDC* che rappresenta lo stesso valore espresso in unità di carico. I valori di questa colonna (che per *Foglio di Lamiera 1500x2000x3* è, per esempio, 142 UDC) saranno quelli utilizzati come inventario di picco per il dimensionamento del magazzino. Chiaramente, per le materie prime e componenti comuni tra trinciatutto e fresatrice, i valori da considerare sono le somme di *NUM.UDC* di ciascun modello. Successivamente, la colonna *GG cop* contiene i valori dei giorni di copertura garantiti dalla scorta immagazzinata, calcolati come:

$$\frac{\text{Giacenza media}}{\text{Fabbisogno giornaliero}} = \frac{\text{Inventario di picco}/2}{\text{Fabbisogno mensile}/22}$$

I valori da sostituire sono ripresi dalle tabelle riportate. Infine, la colonna *IR* presenta gli indici di rotazione di ciascun articolo a magazzino, calcolati con la formula:

$$\frac{\text{Fabbisogno mensile}}{\text{Inventario di picco}}$$

Nel nostro caso, essendo gli intervalli di riordino fissati e uguali tra diversi prodotti, gli indici di rotazione sono a loro volta uguali tra più articoli (per le lamiere IR è pari a 3,4 così come per gli alberi di trasmissione e i rastrelli per trinciatutto, tutti componenti con 10 giorni di intervallo di riordino).

Una volta calcolati i volumi da immagazzinare di ciascun articolo per entrambi i modelli di entrambi i prodotti, abbiamo iniziato l'effettiva costruzione del magazzino materie prime, seguendo una procedura caratterizzata da una transizione graduale dall'ideale-teorico al reale-pratico. Il primo passo è stato riunire in un'unica tabella le quantità da immagazzinare e le loro caratteristiche principali, sommando le quantità degli articoli in comune tra fresatrici e trinciatutto.

DESCRIZIONE MATERIALE NELL'UNITÀ DI CARICO	DESTINAZIONE	DIMENSIONI Prof x Largh x Alt	DIMENSIONE VANO Prof x Largh x Alt	PZ/UDC	SOVR	FRESATRICE	TRINCIAUTTO	TOTALE UDC
LAMIERE 1500x2000x3	TRANCIATURA	1500x2000x300	1700x2100x500	25	2	150	142	292
LAMIERE 1000x1500x3	TRANCIATURA	1000x1500x300	1200x1600x500	25	2	135	128	263
LAMIERE 1000x2000x3	TRANCIATURA	1000x2000x300	1200x2100x500	25	2	738	355	1093
RUOTE DENTATE CONICHE	ASSEMBLAGGIO	800x1000x800	1000x1100x1000	200	4	54	52	106
RUOTE DENTATE CILINDRICHE	ASSEMBLAGGIO	800x1000x800	1000x1100x1000	200	4	81	77	158
ALBERI TRASMISSIONE PER L=1500	ASSEMBLAGGIO	460x800x550	660x900x1300	50	4	246	234	480
ALBERI TRASMISSIONE PER L=1750	ASSEMBLAGGIO	800x1500x800	1000x1600x1000	50	4	106	100	206
ALBERO CON FRESE PER FRESATRICI L=1500	ASSEMBLAGGIO	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	4	551		551
ALBERO CON FRESE PER FRESATRICI L=1750	ASSEMBLAGGIO	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	4	237		237
ALBERO CON MARTELLI PER TRINCIAUTTO L=1500	ASSEMBLAGGIO	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	4		449	449
ALBERO CON MARTELLI PER TRINCIAUTTO L=1750	ASSEMBLAGGIO	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	4		193	193
RASTRELLI PER TRINCIAUTTO PER L=1500	SALDATURA	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	2		972	972
RASTRELLI TRINCIAUTTO PER L=1750	SALDATURA	1000x2000x1000	1200x2100x1200	12	2		417	417

Tabella con dimensioni delle UDC, dimensioni dei vani e quantità espresse in UDC per ciascun articolo a magazzino materie prime

Tutti i valori numerici relativi alle quantità sono espressi in unità di carico, poiché sia l'ingresso, sia lo stoccaggio, sia l'uscita dei materiali avvengono spostando unità di carico pallettizzate. Le dimensioni delle unità di carico sono dati forniti dal testo del progetto e sono espresse in millimetri. La dimensione dei vani è stata calcolata partendo dalle dimensioni delle UDC nel seguente modo:

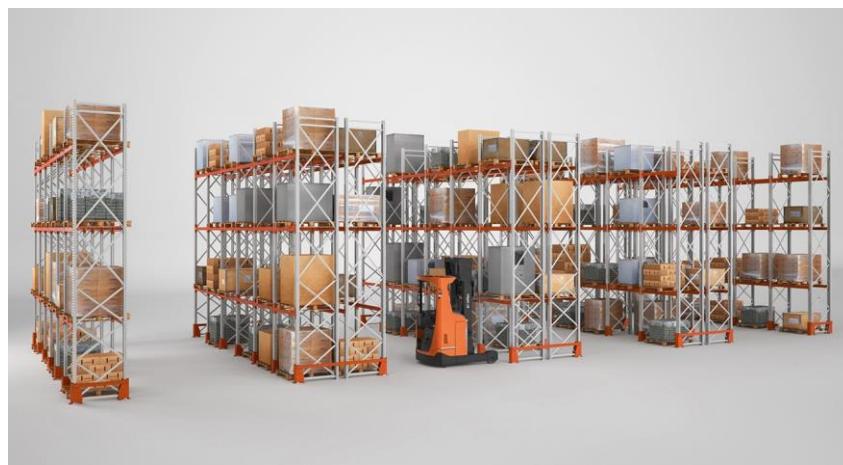
$$\begin{cases} \text{Lato Corto vano} = \text{Lato Corto UDC} + 200 \text{ mm} \\ \text{Lato Lungo vano} = \text{Lato Lungo UDC} + 100 \text{ mm} \\ \text{Altezza vano} = \text{Altezza UDC} + 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Le dimensioni dei vani sono maggiori perché tengono conto delle misure di montanti e correnti della scaffalatura. Inoltre, per l'altezza dei vani, è da considerare il fatto che il carrello che posiziona o preleva

l'unità di carico deve essere in grado di sollevarla quanto basta per movimentarla. Le dimensioni dei vani si riveleranno fondamentali nel calcolo della superficie in pianta occupata dal magazzino. Nella tabella è poi riportata anche la sovrappponibilità, per valutare un eventuale stoccaggio in cataste, e la destinazione, in modo da posizionare in prossimità dei reparti interessati ciascun articolo.

La dimensione dei vani dei vari materiali è tra i dati che abbiamo ritenuto più rilevanti nello scegliere il tipo di magazzino. Infatti, con vani di così diverse dimensioni tra loro, la creazione di un unico *shared storage* per tutti i codici, oltre ad annullare i vantaggi precedentemente descritti portati dal layout a L, si rivelerebbe sconveniente anche in termini di superficie occupata, dovendo acquistare scaffalature di grandi dimensioni anche per UDC più piccole, saturando in maniera inefficiente lo spazio. Per questa ragione, il magazzino è stato suddiviso in compartimenti, adottando una soluzione tendente ad un *dedicated storage*. Come già anticipato, la dimensione dei vani e la destinazione di ciascun articolo sono stati i principali criteri per la compartimentazione del magazzino.

Prima di descrivere le decisioni prese per ciascun prodotto e arrivare alla definizione di un layout teorico di magazzino, abbiamo dovuto definire il tipo di scaffalature da acquistare. Scartata la possibilità di accatastare, abbiamo considerato le varie opzioni quali scaffalature bifrontali tradizionali, scaffalature drive-in/drive-through e live storage. Quest'ultima ipotesi, considerato il costo relativamente molto elevato di un vano, non è stata considerata per il magazzino materie prime. Anche le scaffalature drive-in e drive-through sono state scartate. Le principali motivazioni di questa decisione sono legate alla selettività, che è relativamente bassa, e a pesi e dimensioni delle unità di carico. Infatti, per rendere un'ipotetica scaffalatura drive-in veramente conveniente avremmo dovuto darle una profondità tale che avrebbe reso il peso da sostenere troppo elevato (si consideri per esempio che una singola UDC di *Foglio di Lamiera 1500x2000x3* ha un peso stimato di circa 1800 kg). Delle possibili soluzioni al problema del peso sarebbero state l'inserimento, per esempio, di controventature superiori e posteriori, oppure l'inserimento di tunnel d'irrigidimento tra gli scaffali. Queste opzioni però avrebbero portato a ulteriori oneri e, nel caso dei tunnel, anche un aumento della superficie necessaria. Abbiamo ritenuto questi oneri eccessivi per il magazzino materie prime, decidendo invece di investire di più successivamente per il magazzino prodotti finiti. Dunque, abbiamo optato per l'acquisto di scaffalature bifrontali tradizionali per tutto il magazzino materie prime, garantendo una selettività pari a 1 e una più semplice gestione delle movimentazioni.



Esempio di scaffalature bifrontali tradizionali

Abbiamo ipotizzato, prima di calcolarne il numero necessario e considerando i costi di ciascun modello disponibile, di utilizzare per tutte le zone del magazzino materie prime carrelli elevatori le cui specifiche si rifanno ad un carrello standard CATERPILLAR modello EP20AN. Questo carrello ha lunghezza totale pari a 3275 mm, di cui 1150 mm di forche. Queste misure risultano di vitale importanza nella scelta della larghezza da assegnare ai corridoi secondari tra gli scaffali per lasciare al carrello uno spazio di manovra sufficiente.

Tutte le decisioni sulla larghezza dei corridoi sono state prese basandosi sull'ipotesi di inforcare le UDC e riporle nei vani dal lato lungo, che risulta quindi affacciato sul corridoio secondario. Ogni caso sarà successivamente descritto. Altre caratteristiche del modello EP20AN per le quali è stato scelto sono la portata massimo del carico e l'altezza raggiungibile. Questo modello, infatti, se dotato di montanti CATERPILLAR di tipo Simplex, può sollevare fino a 1825 kg ad un'altezza di 6 metri (2000 kg sotto i 4,5 metri). Queste portate garantiscono la possibilità di sollevare tutte le tipologie di UDC presenti a magazzino fino a 6 metri, persino quelle dell'articolo *Foglio di Lamiera 1500x2000x3*, la cui UDC pesa circa 1800 kg.



CATERPILLAR EP20AN

L'uso dei carrelli elevatori piuttosto che di altri mezzi di movimentazione risulta particolarmente vantaggioso per il magazzino materie prime per via della loro versatilità: non necessitando di binari né di particolari strutture e possono essere impiegati in tutte le zone dello stabilimento, non solo del magazzino. Definiti questi dettagli, per ciascun prodotto è stata calcolata l'area teorica di magazzino necessaria per lo stoccaggio seguendo la stessa procedura adattata ai diversi scenari.

Modulo unitario scaffalature tradizionali generico

L'utilizzo dello stesso tipo di scaffalatura per tutti i prodotti ci ha consentito di calcolare le dimensioni e la superficie dei moduli unitari di ciascuno di essi nello stesso modo, facendo riferimento ad uno stesso disegno standard di quest'ultimo. Di seguito le formule utilizzate:

$$\text{Lunghezza MU} = (2 \times \text{Lato Corto vano}) + \text{Larghezza Corridoio}$$

$$\text{Profondità MU} = \text{Lato Lungo vano}$$

$$\text{Area MU} = \text{Lunghezza MU} \times \text{Profondità MU}$$

$$\text{Numero Livelli} = \text{INT}\left(\frac{6 \text{ m}}{\text{Altezza vano}}\right) + 1$$

$$\text{UDC MU} = 2 \times \text{Numero Livelli}$$

$$\text{Numero MU} = \text{ROUNDUP}\left(\frac{\text{Totale UDC}}{\text{UDC MU}}\right)$$

$$\text{Area Teorica UDC} = \frac{\text{Area MU}}{\text{UDC MU}}$$

$$\text{Area Teorica Mag} = \text{ROUNDUP}(\text{Area Teorica UDC} \times \text{Totale UDC})$$

Numero livelli si riferisce al numero massimo possibile di livelli della scaffalatura con 6 metri di elevazione delle forche. *UDC MU* è il numero di UDC contenute in un singolo MU (= Modulo Unitario). *Area Teorica UDC* è l'area occupata idealmente da ogni singola UDC in un MU.

Partendo dall'articolo *Foglio di Lamiera 1500x2000x3*, questo prodotto è stato previsto lo stoccaggio nella zona più a ovest del magazzino. Vista la grande dimensione dell'unità di carico, abbiamo considerato un corridoio di 4,5 metri. Infatti, in questo caso specifico l'UDC sporge sia in lunghezza sia in larghezza dalle forche.

LAMIERE 1500x2000x3		
Totale UDC:	292	udc
Lunghezza MU:	7,9	m
Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	16,59	m^2
Altezza Vano:	0,5	m
Numero Livelli:	13	
UDC MU:	26	udc
Numero MU:	12	
Area Teorica UDC:	0,638	m^2/udc
Area Teorica Mag:	187	m^2
Area Teorica Mag (MU):	199	m^2

Calcoli area teorica occupata da lamiere 1500x2000x3

Considerando ora le altre due tipologie di lamierati, queste, spostandosi verso est, sono immagazzinate subito successivamente a quelle precedentemente descritte. I vani delle scaffalature sono dimensionati diversamente e dedicati ai rispettivi prodotti per garantire la selettività. Gran parte di questa zona è comunque dedicata solo all'articolo *Foglio di Lamiera 1000x2000x3*, le cui quantità da immagazzinare e dimensioni sono molto più elevate. In questo caso sono stati considerati corridoi secondari di 4 metri per calcolare la lunghezza del Modulo Unitario.

LAMIERE 1000x1500x3		LAMIERE 1000x2000x3	
Totale UDC:	263	udc	1093
Lunghezza MU:	6,4	m	6,4
Profondità MU:	1,6	m	2,1
Area MU:	10,24	m^2	13,44
Altezza Vano:	0,5	m	0,5
Numero Livelli:	13		13
UDC MU:	26	udc	26
Numero MU:	11		43
Area Teorica UDC:	0,394	m^2/udc	0,517
Area Teorica Mag:	104	m^2	565
Area Teorica Mag (MU):	113	m^2	578

Calcoli area teorica occupata da lamiere 1000x1500x3 e lamiere 1000x2000x3

Procedendo da ovest verso est, troviamo la zona più ampia del magazzino. Infatti, considerando che gli articoli *Alberi con Frese*, *Alberi con Martelli* e *Rastrelli per Trinciatutto* (entrambe le lunghezze) hanno la stessa dimensione in termini di UDC e quindi di vani, è conveniente, nell'ottica di ottimizzazione dello spazio, creare per questi quattro prodotti un unico sotto-magazzino di tipo shared storage (in cui comunque la selettività è 1 grazie alle scaffalature tradizionali). Tuttavia, a livello pratico si cercherà di riempire le scaffalature geograficamente più a ovest con i rastrelli, destinati alla saldatura, mentre quelle più a est con gli alberi, che

vanno direttamente all’assemblaggio. I corridoi su cui affacciano i Moduli Unitari sono anche in questo caso larghi 4 metri.

GENERALE		
Totale UDC:	2819	udc
Lunghezza MU:	6,4	m
Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	13,44	m^2
Altezza Vano:	1,2	m
Numero Livelli:	6	
UDC MU:	12	udc
Numero MU:	235	
Area Teorica UDC:	1,120	m^2/udc
Area Teorica Mag:	3158	m^2

ALBERI CON FRESE			ALBERI CON MARTELLI			RASTRELLI		
Totale UDC:	788	udc	Totale UDC:	642	udc	Totale UDC:	1389	udc
Numero MU:	65,67		Numero MU:	53,50		Numero MU:	115,75	
Area Teorica Mag:	882,56	m^2	Area Teorica Mag:	719,04	m^2	Area Teorica Mag:	1555,68	m^2

Calcoli area teorica occupata da alberi con frese, alberi con martelli e rastrelli

Passando ora agli alberi di trasmissione, per l’articolo *Albero di Trasmissione L=1500* è stato previsto di sistemare due UDC per ogni vano di scaffalatura, impilate l’una sull’altra. Questa scelta risulta conveniente per risparmiare sul numero di vani da acquistare e realizzabile viste le dimensioni e i pesi relativamente ridotti di questo articolo (il calcolo delle dimensioni dei vani differisce dagli altri per questa ragione). Per *Albero di Trasmissione L=1750* invece i dati sono stati elaborati nella maniera standard. La posizione degli scaffali per questi alberi sarà ad est del magazzino precedente, prossima all’assemblaggio. I corridoi di accesso sono larghi 4 metri.

ALBERO TRASMISSIONE L=1500			ALBERO TRASMISSIONE L=1750		
Totale Vani:	240	udc	Totale UDC:	237	udc
Lunghezza MU:	5,32	m	Lunghezza MU:	6	m
Profondità MU:	0,9	m	Profondità MU:	1,6	m
Area MU:	4,79	m^2	Area MU:	9,6	m^2
Altezza Vano:	1,3	m	Altezza Vano:	1	m
Numero Livelli:	5		Numero Livelli:	7	
Vani MU:	10	udc	UDC MU:	14	udc
Numero MU:	24		Numero MU:	17	
Area Teorica Vano:	0,479	m^2/udc	Area Teorica UDC:	0,686	m^2/udc
Area Teorica Mag:	115	m^2	Area Teorica Mag:	163	m^2

Calcoli area teorica occupata da alberi di trasmissione L=1500 e alberi di trasmissione L=1750

Così come per il magazzino di rastrelli, alberi con frese e alberi con martelli, anche la parte dedicata agli ingranaggi quali *Ruota Dentata Conica* e *Ruota Dentata Cilindrica* sono previste scaffalature condivise, avendo i due articoli dimensioni identiche. I corridoi di accesso sono considerati nuovamente di 4 metri.

GENERALE		
Totale UDC:	264	udc
Lunghezza MU:	6	m
Profondità MU:	1,1	m
Area MU:	6,6	m^2
Altezza Vano:	1	m
Numero Livelli:	7	
UDC MU:	14	udc
Numero MU:	19	
Area Teorica UDC:	0,471	m^2/udc
Area Teorica Mag:	125	m^2

RUOTA DENTATA CONICA		RUOTA DENTATA CILINDRICA	
Totale UDC:	106	udc	
Numero MU:	7,58		
Area Teorica Mag:	49,98	m^2	

Calcoli area teorica occupata da ruote dentate coniche e ruote dentate cilindriche

La trattazione delle aree teoriche richieste da ciascun prodotto ci ha reso possibile un calcolo dell'area totale teorica del magazzino come somma delle aree teoriche occupate da ciascun articolo. Questo valore è pari a 4417 m². Quest'area non tiene conto dell'area dei corridoi principali, né dello spazio occupato dalle colonne della maglia, né dell'area reale che i vari moduli unitari occupano una volta messi in pianta. Il valore dell'area teorica, infatti, è calcolato considerando l'impronta delle singole UDC, che però non tiene conto del numero effettivo di moduli unitari da posizionare.

Un ulteriore fattore che contribuisce ad aumentare l'area reale del magazzino materie prime è l'inserimento di una area di picking in prossimità degli ingranaggi e degli alberi di trasmissione. In questa zona, i carrelli elevatori porteranno periodicamente UDC di questi prodotti, invece di andare al reparto di produzione. Per tutti gli altri articoli, i carrelli invece porteranno le UDC direttamente alle postazioni. Tutti i dettagli sul numero di carrelli elevatori necessari per i trasporti saranno discussi nel capitolo "Movimenti Interni di Produzione".

Come già detto in precedenza, la posizione dei vari articoli nel magazzino è stata definita utilizzando come criterio la riduzione della distanza tra questi e la loro futura destinazione nella zona di produzione. Questa decisione è stata presa per sfruttare al meglio i vantaggi del layout a L dell'impianto. Tuttavia, questa soluzione non tiene conto degli indici di rotazione dei componenti a magazzino. Un'altra possibile strada per definire le posizioni dei vari articoli che tenesse conto di questi indici sarebbe stata, per esempio, una Analisi ABC, che avrebbe portato al design di un *class based storage*. I risultati di questa analisi sono riportati.

CODICE	ARTICOLO	INDICE DI ROTAZIONE	CUMULATA	PERCENTUALE CUMULATA
ESTING001	RUOTE DENTATE CONICHE	11,00	11,00	15,08%
ESTING002	RUOTE DENTATE CILINDRICHE	11,00	22,00	30,17%
ESTASS004	ALBERO COMPLETO DI MARTELLI PER TRINCIATUTTO L=1750	7,33	29,33	40,22%
ESTASS003	ALBERO COMPLETO DI MARTELLI PER TRINCIATUTTO L=1500	7,33	36,67	50,28%
ESTASS001	ALBERO COMPLETO DI FRESE PER FRESA L=1500	6,29	42,95	58,90%
ESTASS002	ALBERO COMPLETO DI FRESE PER FRESA L=1750	6,29	49,24	67,51%
ESTALB001	ALBERO DI TRASMISSIONE L=1500	3,38	52,62	72,15%
ESTALB002	ALBERO DI TRASMISSIONE L=1750	3,38	56,01	76,80%
ESTSAL001	RASTRELLA PER TRINCIATUTTO L=1500	3,38	59,39	81,44%
ESTSAL002	RASTRELLA PER TRINCIATUTTO L=1750	3,38	62,78	86,08%
ESTLAM001	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3	3,38	66,16	90,72%
ESTLAM002	FOGLIO LAMIERA 1000x1500x3	3,38	69,55	95,36%
ESTLAM003	FOGLIO LAMIERA 1000x2000x3	3,38	72,93	100,00%

Dati e risultati per analisi ABC

Tutti i prodotti a magazzino sono stati elencati per indice di rotazione (calcolato nel foglio `$_mag_buffer`) in ordine decrescente in una tabella. Abbiamo poi creato una funzione cumulata di questi indici di rotazione e riportato i suoi valori in percentuale rispetto alla somma di tutti gli indici. I valori assunti dalla cumulata sono poi stati riportati in un grafico, sotto riportato. Le classi sono state delineate con delle rette verticali sul grafico e sono così definite:

- A. Alta Movimentazione: valori fino a 70% della funzione cumulata (70% del totale)
- B. Media Movimentazione: valori tra 70% e 90% della funzione cumulata (20% del totale)
- C. Bassa Movimentazione: valori superiori a 90% della funzione cumulata (10% del totale)

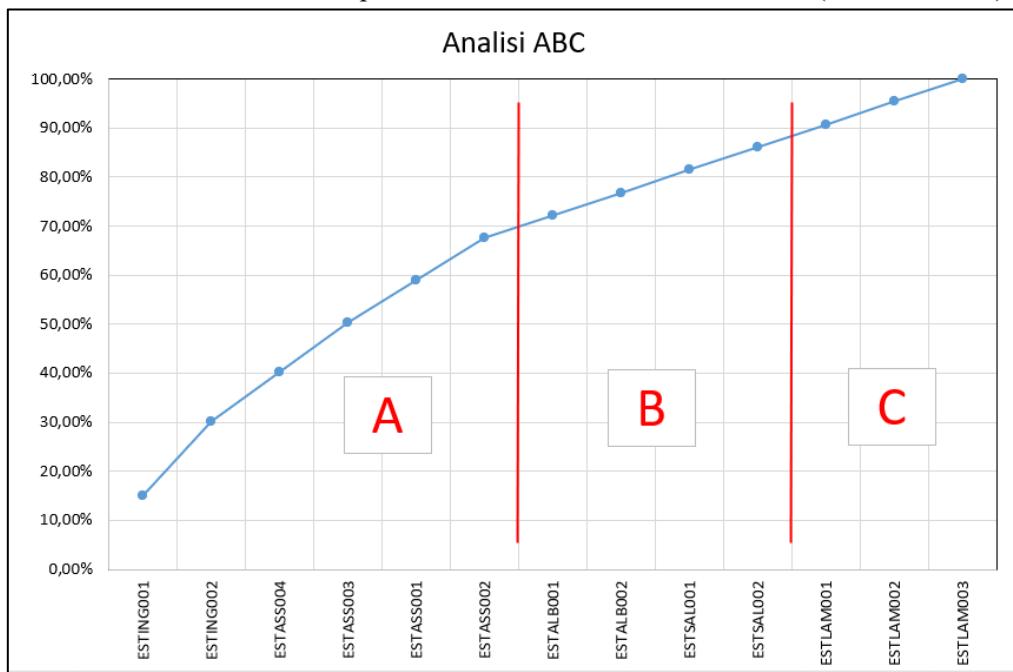


Grafico analisi ABC

Dal grafico, ricaviamo la divisione dei prodotti nelle varie classi:

CODICE	ARTICOLO	CLASSE
ESTING001	RUOTE DENTATE CONICHE	A
ESTING002	RUOTE DENTATE CILINDRICHE	A
ESTASS004	ALBERO COMPLETO DI MARTELLI PER TRINCIATUTTO L=1750	A
ESTASS003	ALBERO COMPLETO DI MARTELLI PER TRINCIATUTTO L=1500	A
ESTASS001	ALBERO COMPLETO DI FRESE PER FRESA L=1500	A
ESTASS002	ALBERO COMPLETO DI FRESE PER FRESA L=1750	A
ESTALB001	ALBERO DI TRASMISSIONE L=1500	B
ESTALB002	ALBERO DI TRASMISSIONE L=1750	B
ESTSAL001	RASTRELLA PER TRINCIATUTTO L=1500	B
ESTSAL002	RASTRELLA PER TRINCIATUTTO L=1750	B
ESTLAM001	FOGLIO LAMIERA 1500x2000x3	C
ESTLAM002	FOGLIO LAMIERA 1000x1500x3	C
ESTLAM003	FOGLIO LAMIERA 1000x2000x3	C

Divisione materie prime per classe

L' analisi ABC risulta poco significativa come criterio, considerate le molto diverse aree occupate da ciascun articolo e gli indici di rotazione uguali tra più componenti.

Passando al vero e proprio disegno del magazzino, essendo le UDC dei vari articoli di diversa dimensione tra loro, e considerate le scelte fatte a livello di stoccati dedicati e area di picking, il calcolo del numero ottimale di corridoi secondari per l'accesso ai vani non è stato fatto seguendo procedure standard. Essendo lo spazio occupato a magazzino dei vari prodotti molto diverso, con anche le larghezze dei corridoi secondari diverse tra loro, abbiamo scelto di dare forma alla zona di stoccaggio a partire dai componenti che occupano più spazio e in seguito di sistemare in maniera efficiente gli scaffali degli altri componenti rispetto a quest'area. La zona dedicata a rastrelli per trinciatutto, alberi con frese e alberi con martelli occupa di fatto la maggior parte dell'area di stoccaggio. Di conseguenza, abbiamo dato a quest'area una forma rettangolare che si adeguasse in maniera efficiente alle dimensioni indicative del layout a blocchi della produzione. Dopo, abbiamo sistemato graficamente gli articoli restanti ai lati di questo rettangolo (seguendo le posizioni precedentemente decise e descritte). Abbiamo cercato il più possibile di conferire al magazzino una forma rettangolare e di ridurre le aree vuote e inutilizzate.

Dopo aver disegnato in pianta il magazzino materie prime, abbiamo ottenuto che l'area reale totale della zona di stoccaggio è di circa 7706 m²; il magazzino ha forma rettangolare con lato lungo di circa 138,6 metri e lato corto di circa 55,6 metri. La differenza rispetto all'area teorica ideale è dovuta principalmente all'inserimento dei corridoi principali e alla presenza delle colonne della maglia che obbligano ad "aggiustare" la disposizione degli scaffali. Abbiamo apportato anche alcune modifiche sostanziali rispetto alla disposizione per moduli unitari di alcuni prodotti. Per esempio, gli scaffali per le lamiere dei carter sono stati in realtà tutti disposti lungo la parete ovest della zona di stoccaggio, così come quelli per le ruote dentate lungo la parete est. Infine, sempre per ragioni di ottimizzazione, nella parte ad est alcuni articoli diversi tra loro condividono lo stesso corridoio d'accesso.

Il calcolo dell'area reale è stato fatto tenendo conto di due lunghi corridoi principali larghi 5 metri che percorrono rispettivamente ciascuno dei lati lunghi della zona di stoccaggio. Questi corridoi permettono l'accesso a tutti i corridoi secondari su cui affacciano le scaffalature sia dal lato ricevimento merci sia dal lato della produzione (il corridoio nord è in comune con la produzione). Il formato *haircomb* è quello prevalente per il nostro magazzino, fatto salvo per le lamiere 1000x1500 e 1000x2000, che hanno una disposizione tendenzialmente *fishbone*. Questo rende più agevole la distinzione dei due articoli tra di loro e consente lo sfruttamento dello stesso corridoio destinato alle lamiere 1500x2000 per accedere alla produzione. Anche quest'ultimo corridoio è stato in realtà ampliato a 5 metri. Infine, anche un corridoio secondario

approssimativamente centrale della zona di stoccaggio e il corridoio più a est (su cui affacciano le ruote dentate) sono stati allargati a 5 metri. Tutti i 5 corridoi larghi 5 metri appena menzionati sono poi stati dotati di passaggi per il personale larghi 0,7 metri, posizionati uno per lato, portandone la larghezza complessiva a 6,4 metri.

Tutto quanto descritto finora si riferisce solo alla zona di stoccaggio vero e proprio del magazzino materie prime. Di questo fanno parte in realtà anche un'area di ricevimento e controllo situata a sud fondamentale per la gestione delle merci in entrata. In quest'area, le UDC in arrivo sono momentaneamente accatastate mentre attendono di essere inserite nei vani. La superficie prevista a questo scopo è stata calcolata in maniera tale da garantire lo spazio necessario nei giorni di maggiore affluenza di merci. La gestione degli arrivi e il calcolo dell'area necessaria sono discussi nel capitolo “Ricevimento e Spedizione Merci”.

Il dimensionamento della zona di stoccaggio, come già menzionato, è stato fatto sulla base dei valori di inventario di picco di ciascun articolo. Abbiamo tuttavia scelto, per ogni codice a magazzino, di non “aggiustare” i livelli delle scaffalature per contenere precisamente i valori previsti, ma di acquistare per ciascun modulo unitario sempre il numero di livelli calcolato. A livello pratico, questo fa sì che la potenzialità ricettiva effettiva del magazzino materie prime sia di qualche UDC superiore a quella richiesta (il calcolo del numero di vani tornerà anche utile in fase di valutazione dell’investimento).

SCAFFALATURA ARTICOLO/I	SCAFFALI EFFETTIVI	LIVELLI	PR EFFETTIVA (Vani da Acquistare)	PR RICHIESTA	VANI LIBERI	SATURAZIONE
LAMIERE 1500x2000x3	23	13	299	292	7	97,66%
LAMIERE 1000x1500x3	21	13	273	263	10	96,34%
LAMIERE 1000x2000x3	85	13	1105	1093	12	98,91%
RASTRELLI PER TRINCIAUTTO - ALBERI CON FRESE - ALBERI CON MARTELLI	480	6	2880	2819	61	97,88%
ALBERI TRASMISSIONE PER L=1750	34	7	238	237	1	99,58%
ALBERI TRASMISSIONE PER L=1500 (2 UDC x Vano)	48	5	480	480	0	100,00%
RUOTE DENTATE	38	7	266	264	2	99,25%
TOTALE	729		5541	5448	93	98,32%

Calcolo potenzialità ricettiva effettiva e percentuali di saturazione delle scaffalature in condizioni di inventario di picco

La potenzialità ricettiva effettiva totale del magazzino, senza tenere conto delle differenze di dimensione delle varie UDC, è di 5541 UDC circa. La zona di magazzino con meno vani occupati mediamente è quella dedicata a rastrelli e alberi con frese/martelli. I vani liberi in questione sono anche di dimensione relativamente grandi: le circa 10 scaffalature a rimanere libere di questa parte di magazzino saranno quelle più a nord-est (in prossimità dell'area di picking per ingranaggi e alberi di trasmissione) e saranno utilizzate, nell'eventualità, per contenere temporaneamente cassette Odette o eccessi di UDC in entrata nei giorni di riordino.

Parlando invece di sfruttamento superficiale della zona di stoccaggio, abbiamo calcolato che solo il 21,68% della superficie è effettivamente occupato dagli scaffali. Questo risultato particolarmente basso è dato dalla scelta di utilizzare scaffalature tradizionali e di inserire l'area di picking direttamente nel magazzino. Considerata l'altezza dello stabilimento di 18 metri, lo sfruttamento volumetrico del magazzino MP che ha scaffali al massimo a 6 metri risulta essere un valore molto basso, attorno al 7,8%.

4.2. Buffer Intermedi

L'intero funzionamento dei buffer è basato sul fatto che tutte le UDC di semilavorati in uscita dalle lavorazioni transitino nel buffer prima di raggiungere la lavorazione successiva.

Mentre per il magazzino Materie Prime abbiamo definito un inventario di picco da contenere, i buffer sono dimensionati sulla grandezza di esattamente un lotto dei vari articoli da stoccare. In realtà, il valore di un lotto

è diminuito leggermente in base alla percentuale di scarto. A questa grandezza, va poi aggiunta la scorta di sicurezza, equivalente al 20% del valore stesso. Una volta definito il numero di unità totali lo abbiamo diviso per il numero di pezzi che compongono una UDC, definendo il numero di UDC destinate ai vari buffer.

Q.TA' PF (L=1500 + L=1750)	29.670	PZ/MESE	1.349	PZ/G.	330	H/MESE										
Q.TA' PF L=1500	20.769	GG LAVORO/MESE	22	%S.S.	20,0%		CAPACITA' MAGAZZINI E BUFFER (Q.TA' MAX PER DIMENSIONAMENTO)									
Q.TA' PF L=1750	8.901	ORE LAV/GIORNO	15													
CODICI NEL BUFFER SEMILAVORATI																
CODICE	DESCRIZIONE					LOTTO	SS	TOTALE	NUM. UDC	GG cop	IR					
INTSAL001	TELAI COMPLETO PER FRESATRICE L=1500					485	97	582	146	0,308248	71,4					
INTSAL002	TELAI COMPLETO PER FRESATRICE L=1750					209	42	250	63	0,309275	71,1					
INTPS001	CARTER L=1500					490	98	588	24	0,302074	72,8					
INTPS001-10	TRANCIAITURA CARTER L=1500					495	99	594	24	0,299053	73,6					
INTPS002	CARTER L=1750					211	42	253	10	0,303066	72,6					
INTPS001-10	TRANCIAITURA CARTER L=1750					213	43	255	10	0,300013	73,3					
INTPS003	STAFFE RINFORZO					2940	588	3528	18	0,352412	62,4					
INTPS003-10	TRANCIAITURA STAFFE RINFORZO					2970	594	3564	18	0,348886	63,1					
INTPS004	PIASTRE ATTACCO TRATTORE					1960	392	2352	12	0,422897	52,0					
INTPS004-10	TRANCIAITURA STAFFE ATTACCO TRATTORE					1980	396	2376	12	0,418665	52,5					
INTRA001	PIASTRE LATERALI					1980	396	2376	12	0,427212	51,5					

Calcolo del numero di lotti, scorta di sicurezza e numero di UDC da stoccare

Una volta determinato il flusso dei vari semilavorati tra un processo e l'altro abbiamo potuto stabilire le dimensioni e le strutture dei vari buffer, tenendo conto del file MOV_MATERIALI per assicurarci quali semilavorati fossero destinati ai vari buffer. Va ricordato che i carter vengono lavorati all'interno delle celle e escono da queste traciati e pressopiegati: vengono quindi direttamente immagazzinati all'interno del buffer di pressopiegatura pronti ad essere saldati. Questa scelta ci aiuta a limitare i trasporti di carichi di dimensioni molto grandi e ci fa risparmiare spazio, aumentando le motivazioni per preferire le celle per la lavorazione dei carter. Fino al buffer di pressopiegatura il numero di lotti e di UDC che vengono stoccati dei vari prodotti di Fresatrici e Trinciatutto sono sommati tra loro, in quanto non sono distinguibili tra loro, al contrario dei telai che sono suddivisi per tipo di prodotto e di modello.

Q.TA' PF (L=1500 + L=1750)	29.670	PZ/MESE	1.349	PZ/G.	330	H/MESE										
Q.TA' PF L=1500	20.769	GG LAVORO/MESE	22	%S.S.	20,0%		CAPACITA' MAGAZZINI E BUFFER (Q.TA' MAX PER DIMENSIONAMENTO)									
Q.TA' PF L=1750	8.901	ORE LAV/GIORNO	15													
CODICI NEL BUFFER SEMILAVORATI																
CODICE	DESCRIZIONE					LOTTO	SS	TOTALE	NUM. UDC	GG cop	IR					
INTPS001	CARTER L=1500					490	98	588	24	0,302074	72,8					
INTPS001-10	TRANCIAITURA CARTER L=1500					495	99	594	24	0,299053	73,6					
INTPS002	CARTER L=1750					211	42	253	10	0,303066	72,6					
INTPS001-10	TRANCIAITURA CARTER L=1750					213	43	255	10	0,300013	73,3					
INTPS003	STAFFE RINFORZO					2940	588	3528	18	0,352412	62,4					
INTPS003-10	TRANCIAITURA STAFFE RINFORZO					2970	594	3564	18	0,348886	63,1					
INTPS004	PIASTRE ATTACCO TRATTORE					1960	392	2352	12	0,422897	52,0					
INTPS004-10	TRANCIAITURA STAFFE ATTACCO TRATTORE					1980	396	2376	12	0,418665	52,5					
INTRA001	PIASTRE LATERALI					1980	396	2376	12	0,427212	51,5					

Calcolo del numero di pile e della superficie teorica occupata dalle cataste

Nel foglio \$_Mov_Materiali abbiamo stimato la superficie occupata nei vari buffer dalle UDC se il metodo di immagazzinamento fossero le cataste, tenendo conto della loro sovrapponibilità. Questo ci permette di stimare la superficie del magazzino nella maniera più teorica possibile, senza tenere conto dei corridoi necessari che circondano le cataste, le quali si rivelano particolarmente utili per le UDC di piccole dimensioni o con alta sovrapponibilità, come ad esempio le piastre attacco trattore o le staffe di rinforzo. La spesa per questi articoli sarebbe inutilmente elevata se decidessimo di utilizzare degli scaffali.

STAFFE RINFORZO TRANCiate			STAFFE RINFORZO TRANCiate		
Totale UDC:	36	udc	Totale UDC:	36	udc
Lunghezza MU:	6	m	Lunghezza MU:	6,2	m
Profondità MU:	1,1	m	Profondità MU:	6,8	m
Area MU:	6,60	m^2	Area MU:	42,16	m^2
Altezza Vano:	1	m	Numero pile:	9,00	
Numero Livelli:	4		Impronta	1,17	m^2/udc
Vani MU:	8	udc	Area Teorica Catasta:	42,2	m^2
Numero MU:	5				
Area Teorica Vano:	0,825	m^2/udc			
Area Teorica Mag:	30	m^2			

Calcolo del numero e la dimensione dei vani a confronto con il calcolo dell'ingombro teorico delle cataste

Per determinare l'area del buffer di traciatura, abbiamo proceduto al calcolo del modulo unitario per ciascuna catasta di prodotto. Questo modulo è costituito semplicemente dalla sezione della catasta stessa, con l'aggiunta del corridoio necessario per le manovre. Dato che le nostre cataste sono di dimensioni ridotte, la maggior parte dello spazio all'interno del modulo unitario è occupata dai corridoi.

Ad esempio, consideriamo la catasta delle staffe di rinforzo, sviluppata su 4 livelli e composta da 9 pile. Con corridoi di quasi 4 metri attorno ad ogni lato, ne consideriamo metà per lato all'interno dell'area, l'area del modulo unitario è quindi di circa 42 m^2 . Conoscendo questo valore e dividendolo per il numero di UDC che possiamo stoccare, pari a 36 UDC,abbiamo determinato che l'impronta di ogni UDC è di circa $1,2 \text{ m}^2$.

Moltiplicando il valore dell'impronta per il numero totale di UDC da immagazzinare,abbiamo ottenuto l'area teorica di questa specifica catasta. Abbiamo ripetuto questo procedimento per gli altri prodotti, così da calcolare l'area teorica complessiva del buffer di traciatura.

STAFFE RINFORZO TRANCiate			PIASTRE ATTACCO TRATTORE TRANCiate			PIASTRE LATERALI		
Totale UDC:	36	udc	Totale UDC:	24	udc	Totale UDC:	12	udc
Lunghezza MU:	6,2	m	Lunghezza MU:	5,4	m	Lunghezza MU:	4,6	m
Profondità MU:	6,8	m	Profondità MU:	6,8	m	Profondità MU:	6,8	m
Area MU:	42,16	m^2	Area MU:	36,72	m^2	Area MU:	31,28	m^2
Numero pile:	9,00		Numero pile:	6,00		Numero pile:	3,00	
Impronta	1,17	m^2/udc	Impronta	1,53	m^2/udc	Impronta	2,61	m^2/udc
Area Teorica Catasta:	42,2	m^2	Area Teorica Catasta:	36,7	m^2	Area Teorica Catasta:	31,3	m^2

Calcoli area teorica occupata da staffe di rinforzo, piastre attacco trattore e piastre laterali

Il buffer traciatura si trova tra i reparti di traciatura e pressopiegatura. Come già detto in precedenza abbiamo deciso di utilizzare il metodo delle cataste, perché, come si può notare dai calcoli, se avessimo deciso di utilizzare, per esempio, una scaffalatura tradizionale avremmo risparmiato relativamente poco spazio e avremmo invece dovuto aggiungere al bilancio finale il costo degli scaffali.

Abbiamo inoltre deciso di non seguire alla lettera il metodo dell'area teorica per la disposizione delle cataste: le varie pile di prodotti sono disposte in modo tale da creare una fila di profondità singola che funge da divisione tra la traciatura e la pressopiegatura. In conclusione, avremo 9 pile di staffe di rinforzo, 6 di piastre attacco trattore e 3 di piastre laterali che, avendo tutte le stesse dimensioni e quindi occupando la stessa area di $0,8 \text{ m}^2$ per UDC, possono essere posizionate affiancate tra di loro a formare delle file, separate per prodotto. L'area totale del buffer la troviamo semplicemente sommando le aree teoriche occupate dalle cataste dei vari prodotti e vale circa 15 m^2 . I prodotti vengono riposti dal lato ovest delle cataste e prelevati dal lato opposto.

Il buffer pressopiegatura è diviso in due sezioni separate: i carter traciati e presso piegati vengono stoccati in un magazzino drive-through posizionato a est delle celle, mentre le staffe di rinforzo e le piastre attacco trattore vengono accatastate in corrispondenza dell'area di pressopiegatura. Il risultato del calcolo dell'area occupata dalle cataste è lo stesso utilizzato nel buffer traciatura e anche i risultati sono pressoché gli stessi. Da notare che abbiamo sottratto l'area occupata dalle UDC delle piastre laterali che dal buffer traciatura vengono portate direttamente alla saldatura.

Per i carter invece sono stati calcolati i vani necessari per una scaffalatura di tipo drive-through. Per questo modello il modulo unitario ha come dimensioni la profondità di un vano per 3 volte la lunghezza di un vano sommato a mezzo corridoio. Ogni vano ha come dimensioni $1,7 \times 2,1 \text{ m}$ ed è alto $0,6 \text{ m}$ e per questo magazzino abbiamo calcolato di avere 5 livelli, utilizzando carrelli con massima elevazione pari a 3 m. Con questi dati siamo arrivati a calcolare un'area teorica complessiva di circa 67 m^2 . Abbiamo poi deciso di dedicare una parte del magazzino ai carter destinati a Fresatrici e Trinciatutto 1500, mentre un'altra ai carter destinati alle 1750. Quest'ultima scelta è stata ritenuta necessaria vista la selettività minore di 1 del drive-through: un'unica scaffalatura per entrambe le tipologie di carter avrebbe potenzialmente bloccato l'accesso ad una delle due tipologie.

CARTER		
Totale UDC:	68	udc
Lunghezza MU:	14	m
Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	29,40	m^2
Altezza Vano:	0,7	m
Numero Livelli:	5	
Vani MU:	30	udc
Numero MU:	3	
Area Teorica Vano:	0,980	m^2/udc
Area Teorica Mag:	67	m^2
Area Teorica Mag (MU):	88	m^2
Area Teorica L=1500:	47	m^2
Area Teorica L=1500:	20	m^2

Calcoli area teorica occupata dai carter 1500 e 1750

Il buffer di saldatura, posizionato tra le postazioni dei box di saldatura e le linee di assemblaggio, è strutturato seguendo modello drive-in. In questo caso, l'elevazione massima dei carrelli che abbiamo deciso di utilizzare è di 6 metri, cosa che comunque ci ha permesso di sviluppare solamente 3 livelli. In questo caso il modulo unitario è composto da 7 vani e il corridoio, che per semplificare i calcoli misura 3,8 m. L'area del MU in questo caso vale circa 33 m², da qui possiamo calcolare l'impronta di ogni vano e moltiplicarla per il numero di vani necessari, essendo le UDC dei telai di Fresatrici e Trinciatutto con le stesse dimensioni, indipendentemente dal modello. Essendo il numero di UDC per ogni modello divisibile per 7, possiamo usare lo stesso modulo per calcolare l'area teorica totale dell'intero buffer di saldatura, che misura circa 656 m².

TELAI COMPLETO		
Totale UDC:	418	udc
Lunghezza MU:	15,7	m
Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	32,97	m^2
Altezza Vano:	2,2	m
Numero Livelli:	3	
UDC MU:	21	udc
Numero MU:	20	
Area Teorica UDC:	1,570	m^2/udc
Area Teorica Mag:	657	m^2
Area Teorica Mag (MU):	659	m^2
Area Teorica L=1500:	458	m^2
Area Teorica L=1750:	198	m^2

Calcoli area teorica occupata dai telai 1500 e 1750

Tenendo comunque conto di questi calcoli, abbiamo preferito disporre i vani in maniera leggermente differente per rispettare le condizioni imposte da maglie e aree disponibili. Abbiamo quindi posizionato il modello 1500 di Fresatrice e Trinciatutto in modo tale che, visto in pianta, sia formato da due quadrati da 49 vani ciascuno separati dagli altri scaffali dedicati invece ai modelli 1750 (21 vani per prodotto). Abbiamo in questo modo una porzione di buffer diversa per ogni prodotto che garantisce l'accesso esatto al componente desiderato senza precludere l'accesso agli altri.

4.3. Magazzino Prodotti finiti

Mentre per il magazzino Materie Prime abbiamo deciso di contenere il più possibile l'investimento relativo al tipo di scaffalature e carrelli (a discapito probabilmente della superficie occupata), il magazzino Prodotti Finiti è tecnologicamente più avanzato. Questa scelta è stata fatta per contenere il più possibile la superficie occupata, in modo da tenerlo il più compatto e vicino alla fine dell'assemblaggio possibile.

In quest'ottica, le scaffalature utilizzate sono del tipo a gravità e raggiungono altezze molto più elevate di quelle per il magazzino materie prime. La portata in termini di peso non è in questo caso problematica perché le UDC sono relativamente leggere (massimo 250kg a UDC), come l'accesso ai vani è assicurato tramite l'utilizzo di carrelli che raggiungono grandi altezze. In particolare:

- Il lato da cui il magazzino sarà rifornito è servito da carrelli a presa trilaterale di marca CATERPILLAR della linea NVT, che possono raggiungere anche 20 metri d'altezza
- Il lato da cui sono prelevati i prodotti finiti è percorso da un trasloelevatore automatico che viaggia su un binario lungo la “parete” del magazzino e porta al livello terra le UDC da caricare sui camion, che saranno poi caricate da normali carrelli elevatori



Carrello a presa trilaterale CATERPILLAR

La scelta di impiegare mezzi più costosi è stata fatta per assicurare l'efficienza del magazzino PF, che deve fare fronte ad una domanda mensile di oltre 57000 pezzi tra le quattro linee di prodotto. Il numero preciso di carrelli utilizzati è calcolato nei capitoli “Movimenti Interni di Produzione” e “Ricevimento e Spedizione merci”.

In questo tipo di magazzino, i vani sono naturalmente dedicati ad ogni diverso prodotto, garantendo la selettività sulle UDC che si affacciano sui corridoi. Allo stesso modo dei buffer, tutti i prodotti transitano necessariamente dal magazzino prima di essere caricati sui camion. Infine, il magazzino Prodotti Finiti ha la dimensione di contenimento di esattamente un lotto di prodotti aumentato del 20%, esattamente come per i buffer intermedi. Riportiamo sotto un esempio di calcolo dal foglio *\$_mag_buffer* per la fresatrice e la tabella con tutti i dati necessari per il dimensionamento.

Q.TA' PF L=1500		20,769	GG LAVORO/MESE	22	%S.S.	20,0%	CAPACITA' MAGAZZINI E BUFFER (Q.TA' MAX PER DIMENSIONAMENTO)					
Q.TA' PF L=1750		8.901	ORE LAV/GIORNO	15			LOTTO	SS	TOTALE	NUM. UDC	GG cop	IR
ARTICOLI A MAGAZZINO PF	CODICE	DESCRIZIONE					LOTTO	SS	TOTALE	NUM. UDC	GG cop	IR
INTASS001	FRESATRICE COMPLETA L=1500						500	100	600	600	0,317781	69,2
INTASS002	FRESATRICE COMPLETA L=1750						215	43	258	258	0,318841	69,0

Calcolo quantità stoccate nel magazzino PF

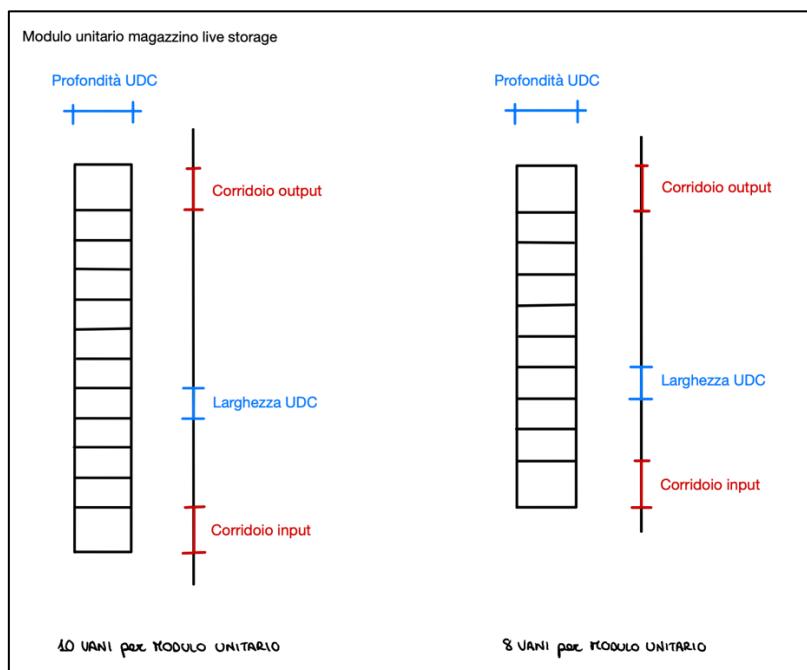
DESCRIZIONE MATERIALE NELL'UNITA' DI CARICO	DIMENSIONI Prof x Largh x Alt	DIMENSIONE VANO Prof x Largh x Alt	PZ/UDC	TOTALE UDC	PESO UN. [kg]
TRINCIATUTTO COMPLETO L=1500	1500x2000x1000	1700x2100x1200	1	600	210,0
TRINCIATUTTO COMPLETO L=1750	1500x2000x1000	1700x2100x1200	1	258	250,0
FRESATRICE COMPLETA L=1500	1500x2000x1000	1700x2100x1200	1	600	210,0
FRESATRICE COMPLETA L=1750	1500x2000x1000	1700x2100x1200	1	258	250,0

Dati utilizzati per dimensionamento

Il numero di vani da acquistare sarà esattamente pari al numero di UDC stoccate, ad esempio nel nostro caso abbiamo 600 UDC per entrambi i prodotti con L=1500 e 258 UDC per quelli con L=1750.

Per la costruzione effettiva del magazzino abbiamo sostanzialmente usato le stesse formule e gli stessi ragionamenti fatti per il magazzino MP. Abbiamo definito le dimensioni dei vani a seconda delle misure delle UDC, tenendo conto dello spazio necessario al movimento dell'UDC all'interno del vano per poterlo inserire ed estrarre e degli spazi occupati dai montanti. La sovrapponibilità di queste UDC non è stata presa in considerazione: nel magazzino a gravità non possiamo sovrapporre due UDC nello stesso vano.

Dopo aver definito le dimensioni dei vani, siamo stati in grado di definire un modulo unitario per il calcolo dell'area teorica che il magazzino occuperà. Il modulo unitario utilizzato per questo tipo di magazzino è riportato sotto. Per i prodotti a L=1500 abbiamo considerato 8 vani di profondità, per quelli a L=1750 10 vani. I corridoi di accesso sui due lati sono stati ipotizzati larghi 5 metri, per consentire da una parte il movimento dei carrelli a presa trilaterale e dall'altra lasciare spazio ai traslo elevatori automatici dove appoggiare le UDC.



Moduli unitari per magazzino live storage con profondità di 8-10 vani

Come già detto, per ottimizzare gli spazi abbiamo deciso di sviluppare il magazzino sfruttando molto l'altezza del fabbricato. Nel calcolo dei livelli abbiamo quindi considerato 15 metri come massima altezza raggiungibile dalle UDC stoccate, in modo da lasciare comunque un paio di metri tra l'ultimo livello e l'altezza sotto filo catena di 18 metri. Conoscendo l'altezza dei vani che necessitiamo per stoccare un UDC pari a 1,2 m, calcoliamo di poter aver fino a 13 livelli in altezza. Riuniti tutti i dati, siamo stati in grado di calcolare l'area teorica occupata da tutti e quattro i prodotti.

TRINCIATUTTO COMPLETA L = 1500			TRINCIATUTTO COMPLETA L = 1750		
Totale UDC:	600	udc	Totale UDC:	258	udc
Lunghezza MU:	23,6	m	Lunghezza MU:	27	m
Profondità MU:	2,1	m	Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	49,56	m^2	Area MU:	56,7	m^2
Altezza Vano:	1,2	m	Altezza Vano:	1,2	m
Numero Livelli:	13		Numero Livelli:	13	
UDC MU:	104	udc	UDC MU:	130	udc
Numero MU:	6		Numero MU:	2	
Area Teorica UDC:	0,477	m^2/udc	Area Teorica UDC:	0,436	m^2/udc
Area Teorica Mag:	286	m^2	Area Teorica Mag:	113	m^2
Area Teorica Mag (MU):	297	m^2	Area Teorica Mag (MU):	113	m^2

FRESATRICE COMPLETA L = 1500			FRESATRICE COMPLETA L = 1750		
Totale UDC:	600	udc	Totale UDC:	258	udc
Lunghezza MU:	23,6	m	Lunghezza MU:	27	m
Profondità MU:	2,1	m	Profondità MU:	2,1	m
Area MU:	49,56	m^2	Area MU:	56,7	m^2
Altezza Vano:	1,2	m	Altezza Vano:	1,2	m
Numero Livelli:	13		Numero Livelli:	13	
UDC MU:	104	udc	UDC MU:	130	udc
Numero MU:	6		Numero MU:	2	
Area Teorica UDC:	0,477	m^2/udc	Area Teorica UDC:	0,436	m^2/udc
Area Teorica Mag:	286	m^2	Area Teorica Mag:	113	m^2
Area Teorica Mag (MU):	297	m^2	Area Teorica Mag (MU):	113	m^2

Aree teoriche occupate dai prodotti a magazzino PF

Essendo un lotto di fresatrici identico ad uno di trinciatutto, le aree teoriche sono esattamente le stesse. La seconda area teorica calcolata è basata sulla messa in pianta del numero effettivo di MU necessari, la prima sull'impronta media delle UDC. L'area teorica totale risulta essere $798 m^2$.

Avendo determinato il numero di livelli, possiamo calcolare il numero effettivo di vani, che sarà maggiore di quello teorico, in quanto è necessario formare un rettangolo esatto per ogni livello. In questo modo avremo dei vani liberi nel caso si verificassero ritardi nelle consegne o altri problemi che rallentano il ciclo continuo di entrata e uscita delle UDC. Il numero di vani effettivo sarà pari al numero di MU effettivamente necessari disegnati moltiplicato per i livelli e la profondità:

PRODOTTO	VANI NECESSARI	VANI EFFETTIVI	SATURAZIONE TEORICA
TRINCIATUTTO COMPLETO L=1500	600	624	96,15%
TRINCIATUTTO COMPLETO L=1750	258	260	99,23%
FRESATRICE COMPLETA L=1500	600	624	96,15%
FRESATRICE COMPLETA L=1750	258	260	99,23%

Calcolo vani effettivi e saturazione

La saturazione è solo teorica perché nella realtà la tendenza sarà quella di tenere sempre completamente riempito il magazzino per avere ancora più scorta di Prodotti Finiti. La potenzialità ricettiva totale effettiva è quindi di 1769 UDC.

Lo spazio del magazzino è diviso in quattro compartimenti, ognuno dedicato a un modello specifico. Dedicando i “tunnel” di vani, il tipo di stoccaggio è il dedicated storage, nonostante le dimensioni uguali dei vani per tutti i prodotti avrebbero potuto farci considerare l'opzione di un unico spazio di stoccaggio condiviso

(shared storage). Il nostro criterio di scelta non è stato influenzato dalla dimensione dei vani quanto dalla posizione delle linee di assemblaggio, che sono anch'esse dedicate, per ottimizzare i tempi di trasporto.

Il sistema di stoccaggio a gravità prevede che le UDC imballate vengano ricevute e manovrate internamente attraverso una serie di rulli in pendenza, sfruttando la forza di gravità. Questa configurazione è stata progettata con l'obiettivo di massimizzare l'efficacia del metodo FIFO come criterio di rotazione della merce. L'utilizzo del traslogeatore automatico dal lato delle spedizioni fa sì che dal momento d'entrata nel magazzino al momento di appoggio a terra dall'altra parte, il processo sia completamente automatico. La selettività di questo magazzino è calcolabile in maniera semplice:

$$\text{Selettività } L\ 1500 = \frac{2}{8} = 25\%$$

$$\text{Selettività } L\ 1750 = \frac{2}{10} = 20\%$$

I vani ad avere accesso diretto infatti sono solo due, quello di entrata e quello di uscita, a fronte della profondità del modulo unitario che varia.

Dopo aver completato il disegno, l'impronta effettiva del magazzino risulta naturalmente più grande di quella teorica, dovendolo “incastrare” nella maglia del fabbricato tra linee d'assemblaggio e banchine di spedizione. Osservato in interezza, il magazzino non ha una forma perfettamente rettangolare per la differente profondità dei MU per i diversi prodotti; tuttavia, per avere una idea della sua area, l'abbiamo approssimato ad appunto un rettangolo. L'area stimata ottenuta è di 1189 m².

Considerando l'area stimata appena menzionata, calcoliamo un coefficiente di sfruttamento superficiale di circa 40,83%, valore sensibilmente più alto di quello del magazzino Materie prime. Considerando l'altezza raggiunta dagli scaffali pieni di 15,6 metri e quella del fabbricato di 18 metri, il coefficiente di sfruttamento volumetrico si aggira intorno al 35,38%. La diminuzione è relativamente bassa, visti i numerosi livelli di scaffalatura acquistati.

5. Movimentazione Materiali

In questo capitolo è trattato il dimensionamento dinamico del nostro stabilimento, con i calcoli relativi al tipo e numero di mezzi di trasporto interno necessari. Il capitolo è diviso in tre sezioni: una relativa a tutti i movimenti interni, dal magazzino Materie Prime alla fine della produzione; una relativa ai movimenti “esterni”, intendendo gli scambi di merci in entrata e in uscita; la terza sull'area di picking, con la descrizione dei movimenti in partenza verso le linee d'assemblaggio.

5.1. Movimenti interni di produzione

Con movimentazione interna si intende la definizione del numero e del tipo di mezzi necessari per spostare materie prime, semilavorati e prodotti finiti all'interno dello stabilimento tra i vari reparti e magazzini. Anche le procedure di picking sono una forma di movimentazione interna, ma saranno trattate in un capitolo a parte.

Il primo passo in questo senso è stato definire i tipi di carrelli o trasportatori da utilizzare. Definiti magazzini, buffer e postazioni di lavoro dell'area di produzione, la scelta di mezzi che risultassero più convenienti per ciascun reparto è stata fatta tenendo presente che la movimentazione avviene sempre per Unità di Carico (fatto salvo per le componenti già precedentemente menzionate che vengono sistamate nella zona di picking). La movimentazione per UDC si traduce nella necessità di utilizzare mezzi che siano sufficientemente prestanti

per spostare pesi considerevoli, oltre al prevedere in ciascuna postazione di lavoro una superficie sufficiente su cui poggiare pallet o scatoloni inforcabili.

Il numero di mezzi di trasporto necessari è stato calcolato considerando la potenzialità di movimentazione richiesta dal progetto, che è ricavata sulla base dei flussi di materiali da una posizione all'altra. Tutti i dati relativi alle UDC da movimentare per ciascuno dei prodotti sono stati calcolati e riportati sul foglio Excel denominato *\$_mov_materiali*, nel quale è presente una matrice di Hollier che definisce le UDC che si spostano tra una zona e l'altra dello stabilimento, su base mensile.

MOVIMENTI MENSILI [UDC pieni]										
DA (righe) / A (colonne)	MAG. MP	MAG. PF	ASS_FIN	BUFF_SALD	SALD	BUFF_PSP	PSP	BUFF_TRNC	TRNC-PSP CELLE	TRNC
MAG. MP			3.811						253	1.477
MAG. PF										
ASS_FIN		29.670								
BUFF_SALD			7.419							
SALD				7.419						
BUFF_PSP					2.082					
PSP						857				
BUFF_TRNC					306		875			
TRNC-PSP CELLE						1.225				
TRNC								1.181		
									CARTER	
									CARTER	

Matrice di Hollier con numero di UDC spostate mensilmente per il prodotto Fresatrice

La matrice per le Trinciatutto a livello di compilazione è analoga a quella riportata, fatto salvo per la movimentazione dei Rastrelli per Trinciatutto che sono portati dal magazzino materie prime direttamente al reparto di saldatura. Come già accennato in precedenza, le operazioni di truciatura e pressopiegatura dei Carter avvengono in celle dedicate che ricevono le lamiere direttamente dal magazzino materie prime e riforniscono il buffer pressopiegatura senza passare da quello per i componenti tranciati.

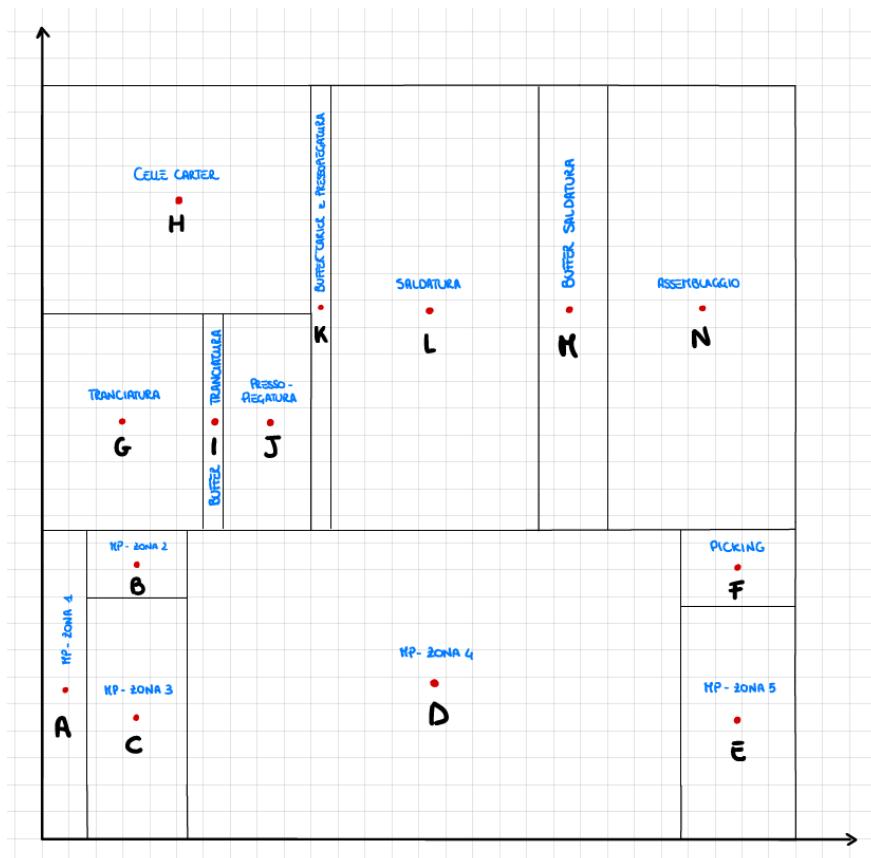
Il calcolo del numero di carrelli presuppone la conoscenza delle distanze in metri tra le varie zone dello stabilimento. Disponendo di un layout già completo di misure per il magazzino materie prime, questo è stato suddiviso a sua volta in 6 sottozone in modo da rendere i calcoli più precisi. Le 6 sottozone sono le seguenti:

1. MP Zona 1: blocco più a ovest del magazzino in cui sono stoccati Fogli di lamiera 1500x2000x3 per i carter
2. MP Zona 2: scaffalature riservate a Fogli di lamiera 1000x1500x3, situate nella parte alta subito conseguente alla zona 1
3. MP Zona 3: scaffalature riservate a Fogli di lamiera 1000x2000x3, posizionate a sud della zona precedente
4. MP Zona 4: corpo centrale del magazzino dove sono immagazzinati gli articoli Alberi con Frese, Alberi con Martelli e Rastrelli per Trinciatutto
5. MP Zona 5: blocco a sud-est contenente ingranaggi e alberi di trasmissione
6. Picking: area nell'angolo a nord-est dove avvengono le operazioni di preparazione delle cassette di ingranaggi e alberi destinate all'assemblaggio (nei calcoli riportata come “kitting”)

Tutte le aree menzionate sono state approssimate a blocchi rettangolari che ricalcassero il più fedelmente possibile le forme reali del magazzino. Per quanto riguarda invece la zona di produzione, per il calcolo delle

distanze è stato utilizzato un layout a blocchi approssimativo precedentemente disegnato. Il disegno in pianta definitivo dello stabilimento non ricalcherà la forma a blocchi di questo layout, che però rimane comunque una buona approssimazione perché le posizioni relative dei blocchi sono corrette e le loro misure volutamente aumentate per avere una stima generosa dei carrelli necessari.

Abbiamo quindi scelto di considerare le misure delle distanze rettangolari tra i baricentri di ciascun blocco per calcolare le distanze di traslazione che i carrelli percorreranno durante gli spostamenti. Per fare ciò, era necessario trovare le posizioni reciproche di tali baricentri. Di conseguenza, abbiamo riportato il disegno del layout a blocchi su un piano cartesiano e abbiamo calcolato le coordinate di tali baricentri utilizzando le dimensioni in metri dei blocchi. Per la sottozona del magazzino MP Zona 5 abbiamo trovato il baricentro nello stesso modo delle altre zone per semplificare i calcoli, anche se gli scaffali sono dedicati a prodotti diversi con numero di accessi diverso. Lo stesso discorso vale per il buffer pressopiegatura, che in parte è una catasta, in parte un drive-through. Ai vari baricentri è stata data una lettera identificativa.



Layout a blocchi con baricentri sul piano cartesiano

BARICENTRO	PUNTO	ASCISSA	ORDINATA
MP Zona 1	A	4,05	27,8
MP Zona 2	B	16,7	48,95
MP Zona 3	C	16,7	21,15
MP Zona 4	D	71,8	27,8
MP Zona 5	E	127,6	20,5
Kitting	F	127,6	48,3
Tranciatura	G	15	75,6
Celle	H	25,5	116,6
Buffer TRNC	I	31,5	75,6
Pressopiegatura	J	42	75,6
Buffer PSP	K	52,5	96,6
Saldatura	L	72	96,6
Buffer SLD	M	95,95	96,6
Assemblaggio	N	119,4	96,6

Coordinate dei baricentri dei blocchi nel piano cartesiano

Tra le zone non rappresentate ci sono le aree di ricevimento e spedizioni merci, i cui spostamenti di materiale (carico merci su camion per spedizioni e inserimento merci a magazzino) sono quantificati e descritti nel capitolo “Ricevimento e Spedizione merci”. Invece, per i movimenti di prodotti finiti dall’assemblaggio al loro magazzino, il calcolo dei mezzi è stato fatto volutamente a parte perché si basa su assunzioni diverse. Per tutte le altre zone, abbiamo riunito i dati dei fogli *\$_Mov_Materiali* di Trinciatutto e Fresatrice e riportato in una tabella il numero di UDC che si spostano tra una zona e l’altra. Questa misura è stata anche riportata come flussi giornalieri, ossia in termini di UDC movimentate quotidianamente sulle tratte.

COMPONENTE	TRINCIATUTTO [UDC]	FRESATRICE [UDC]	TOTALE MESE [UDC]	MEDIA GIORNO [UDC] = PM GIORNO	PARTENZA	h FORCHE MEDIA PARTENZA	ARRIVO	h FORCHE MEDIA ARRIVO	MEZZO
LAMIERA 1500x2000	240	253	493	23	MP Zona 1	3	Celle	0	Carrello 6 m
LAMIERA 1000x1500	216	228	444	21	MP Zona 2	3	Tranciatura	0	Carrello 6 m
LAMIERA 1000x2000	600	1249	1849	85	MP Zona 3	3	Tranciatura	0	Carrello 6 m
RASTRELLI	2350	0	2350	107	MP Zona 4	3	Saldatura	0	Carrello 6 m
ALBERO CON FRESE	0	2473	2473	113	MP Zona 4	3	Assemblaggio	0	Carrello 6 m
ALBERO CON MARTELLI	2350	0	2350	107	MP Zona 4	3	Assemblaggio	0	Carrello 6 m
RUOTE E ALBERI TRASM	1270	1338	2608	119	MP Zona 5	2,88	Kitting	0	Carrello 6 m
PARTI TRANCiate	831	1181	2012	92	Tranciatura	0	Buffer TRNC	1,2	Carrello 3 m
PARTI TRANCiate	831	875	1706	78	Buffer TRNC	1,2	Pressopiegatura	0	Carrello 3 m
PARTI PRESSOPIEGATE	815	857	1672	76	Pressopiegatura	0	Buffer PSP	1,2	Carrello 3 m
CARTER	1163	1225	2388	109	Celle	0	Buffer PSP	1,5	Carrello 3 m
PARTI PRESSOPIEGATE	1978	2082	4060	185	Buffer PSP	1,38	Saldatura	0	Carrello 3 m
PIASTRE LATERALI	306	306	14	14	Buffer TRNC	1,2	Saldatura	0	Carrello 3 m
TELAI	7049	7419	14468	658	Saldatura	0	Buffer SLD	2,2	Carrello 6 m
TELAI	7049	7419	14468	658	Buffer SLD	2,2	Assemblaggio	0	Carrello 6 m

Tabella con quantità in movimento tra un reparto e l’altro e mezzo utilizzato per spostarle

Il primo blocco di righe contiene gli spostamenti che coinvolgono il magazzino materie prime, il secondo gli spostamenti dei semilavorati. Gli articoli *Alberi con Frese* e *Alberi con Martelli* nei passaggi successivi saranno trattati insieme poiché seguono lo stesso percorso.

Nella tabella in figura sono riportati anche il tipo di carrello utilizzato, con distinzione di altezza massima raggiungibile dalle forche. Si ricorda che il modello di carrello adottato è il EP20AN di CATERPILLAR, la cui altezza massima raggiungibile dalle forche è variabile a seconda dei montanti utilizzati. In questo senso, sono anche riportati i dati relativi all’altezza media che le forche raggiungono quando spostano una UDC in ciascun reparto. Per tutti i reparti produttivi tale altezza è 0, in quanto le UDC sono appoggiate a terra, mentre per buffer e magazzini è stata calcolata con la formula:

$$h \text{ FORCHE MEDIA} = \frac{h \text{ VANO} \times (\text{NUMERO LIVELLI} - 1)}{2}$$

In un ciclo di carico della UDC, questa altezza va coperta due volte dalle forche: una volta in fase di sollevamento e una in fase di discesa. Per le zone in cui sono immagazzinati prodotti aventi scaffalature di

diversa altezza (MP Zona 5 e Buffer PSP), il calcolo è stato leggermente complicato facendo una media pesata delle altezze medie in base al numero di UDC spostate per ciascun articolo.

Dalle precedenti tabelle abbiamo poi creato altre due tabelle con le distanze da percorrere sia in termini di traslazione orizzontale sia di movimento delle forche per ciascuna tratta.

PARTENZA	PUNTO	ARRIVO	PUNTO	MEZZO	TRATTO	DISTANZA (rettangolare)	v TRASLAZIONE [km/h]	v TRASLAZIONE [m/s]
MP Zona 1	A	Celle	H	Carrello 6 m	AH	110,25	17	4,7
MP Zona 2	B	Tranciatura	G	Carrello 6 m	BG	28,35	17	4,7
MP Zona 3	C	Tranciatura	G	Carrello 6 m	CG	56,15	17	4,7
MP Zona 4	D	Saldataura	L	Carrello 6 m	DL	69	17	4,7
MP Zona 4	D	Assemblaggio	N	Carrello 6 m	DN	116,4	17	4,7
MP Zona 5	E	Kitting	F	Carrello 6 m	EF	27,8	17	4,7
Tranciatura	G	Buffer TRNC	I	Carrello 3 m	GI	16,5	17	4,7
Buffer TRNC	I	Pressopiegatura	J	Carrello 3 m	IJ	10,5	17	4,7
Pressopiegatura	J	Buffer PSP	K	Carrello 3 m	JK	31,5	17	4,7
Celle	H	Buffer PSP	K	Carrello 3 m	HK	47	17	4,7
Buffer PSP	K	Saldataura	L	Carrello 3 m	KL	19,5	17	4,7
Buffer TRNC	I	Saldataura	L	Carrello 3 m	IL	61,5	17	4,7
Saldataura	L	Buffer SLD	M	Carrello 6 m	LM	23,95	17	4,7
Buffer SLD	M	Assemblaggio	N	Carrello 6 m	MN	23,45	17	4,7

Tabella con lunghezze in metri delle tratte e velocità del carrello elevatore

La distanza rettangolare tra un baricentro e l'altro è stata calcolata come somma tra la differenza in ascissa e la differenza in ordinata dei due punti. La velocità di traslazione del carrello è stata presa dalle specifiche del modello utilizzato e convertita in metri al secondo.

PARTENZA	PUNTO	ARRIVO	PUNTO	MEZZO	TRATTO	SOLLEVAMENTO MEDIO [m]	v SOLL [m/s]	DISCESA MEDIA [m]	v DISC [m/s]
MP Zona 1	A	Celle	H	Carrello 6 m	AH	3	0,62	3	0,56
MP Zona 2	B	Tranciatura	G	Carrello 6 m	BG	3	0,62	3	0,56
MP Zona 3	C	Tranciatura	G	Carrello 6 m	CG	3	0,62	3	0,56
MP Zona 4	D	Saldataura	L	Carrello 6 m	DL	3	0,62	3	0,56
MP Zona 4	D	Assemblaggio	N	Carrello 6 m	DN	3	0,62	3	0,56
MP Zona 5	E	Kitting	F	Carrello 6 m	EF	2,88	0,62	2,88	0,56
Tranciatura	G	Buffer TRNC	I	Carrello 3 m	GI	1,2	0,42	1,2	0,56
Buffer TRNC	I	Pressopiegatura	J	Carrello 3 m	IJ	1,2	0,62	1,2	0,56
Pressopiegatura	J	Buffer PSP	K	Carrello 3 m	JK	1,2	0,42	1,2	0,56
Celle	H	Buffer PSP	K	Carrello 3 m	HK	1,5	0,42	1,5	0,56
Buffer PSP	K	Saldataura	L	Carrello 3 m	KL	1,38	0,62	1,38	0,56
Buffer TRNC	I	Saldataura	L	Carrello 3 m	IL	1,2	0,62	1,2	0,56
Saldataura	L	Buffer SLD	M	Carrello 6 m	LM	2,2	0,42	2,2	0,56
Buffer SLD	M	Assemblaggio	N	Carrello 6 m	MN	2,2	0,62	2,2	0,56

Tabella con sollevamenti medi delle forche per ciascuna tratta interessata

Il sollevamento medio e la discesa media per ciascuna tratta coincidono. La velocità delle forche è costante in fase di discesa, variabile in fase di sollevamento, a seconda della presenza del carico o meno. Anche queste velocità sono prese dalle specifiche del carrello.

Ricavati tutti i dati necessari dalle precedenti due tabelle è stato possibile calcolare, per ciascuna tratta, la durata di: tempo variabile di traslazione orizzontale, tempo variabile di sollevamento verticale e tempo fisso di ciclo semplice. Il tempo fisso di ciclo è stato ipotizzato essere di 45 secondi quando il pallet è posizionato in un magazzino/buffer, di 30 secondi quando è lasciato in una postazione produttiva. I tempi variabili invece sono stati calcolati dividendo le distanze in metri da percorrere sia orizzontali sia verticali per le rispettive velocità.

In particolare:

$$Durata\ Mov\ Forche\ a/r = \frac{Sollevamento\ medio}{v\ Sollevamento} + \frac{Discesa\ media}{v\ Discesa}$$

$$Durata\ Traslazione\ a/r = 2 \times \frac{Distanza}{v\ Traslazione}$$

Il movimento delle forche di andata e ritorno è la somma del tempo di salita e del tempo di discesa. La durata della traslazione orizzontale del carrello invece è pari a due volte la distanza da percorrere divisa per la velocità di traslazione. Abbiamo infatti ipotizzato per tutti gli spostamenti che il carrello ritorni al punto di partenza (il baricentro della zona da cui parte) dopo aver compiuto l'operazione, raddoppiando la distanza che deve coprire. I calcoli si basano dunque sull'ipotesi che un ciclo di attraversamento sia composto da un unico ciclo semplice, al termine del quale il carrello può compiere un altro ciclo semplice partendo dalla stessa zona. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

TRATTO	MEZZO	DURATA TRASLAZIONE a/r [s]	DURATA MOV FORCHE a/r [s]	TEMPO FISSO MAGAZZINO [s]	TEMPO FISSO TERRA [s]
AH	Carrello 6 m	46,69	10,20	45	30
BG	Carrello 6 m	12,01	10,20	45	30
CG	Carrello 6 m	23,78	10,20	45	30
DL	Carrello 6 m	29,22	10,20	45	30
DN	Carrello 6 m	49,30	10,20	45	30
EF	Carrello 6 m	11,77	9,77	45	30
GI	Carrello 3 m	6,99	5,00	45	30
IJ	Carrello 3 m	4,45	4,08	45	30
JK	Carrello 3 m	13,34	5,00	45	30
HK	Carrello 3 m	19,91	6,25	45	30
KL	Carrello 3 m	8,26	4,68	45	30
IL	Carrello 3 m	26,05	4,08	45	30
LM	Carrello 6 m	10,14	9,17	45	30
MN	Carrello 6 m	9,93	7,48	45	30

Tabella con tempi di movimentazione per ciascuna tratta

Il tempo totale di un ciclo semplice sarà dunque la somma dei tempi calcolati prima secondo la seguente formula:

$$Tempo\ Ciclo\ Semplice = Durata\ Traslazione + Durata\ Mov\ Forche + Tempo\ Fisso\ Magazzino + Tempo\ fisso\ Terra$$

I risultati sono stati riportati in una tabella accanto al fattore di sicurezza considerato. Il fattore di sicurezza è stato ipotizzato pari a 1,2 per tutti i carrelli. Questo valore è piuttosto alto (implica che il carrello sia effettivamente disponibile a lavorare per 50 minuti all'ora invece dei 60 ideali), ma è garanzia del fatto che i carrelli sono sufficienti per effettuare tutti gli spostamenti di UDC pur non tenendo in conto tutti gli altri movimenti che in realtà compiono (ritorno alle stazioni di ricarica, trasferimento da un reparto all'altro).

TRATTO	MEZZO	FATTORE DI SICUREZZA	TEMPO CICLO SEMPLICE [s]
AH	Carrello 6 m	1,2	131,89
BG	Carrello 6 m	1,2	97,20
CG	Carrello 6 m	1,2	108,98
DL	Carrello 6 m	1,2	114,42
DN	Carrello 6 m	1,2	134,49
EF	Carrello 6 m	1,2	96,55
GI	Carrello 3 m	1,2	86,99
IJ	Carrello 3 m	1,2	83,53
JK	Carrello 3 m	1,2	93,34
HK	Carrello 3 m	1,2	101,16
KL	Carrello 3 m	1,2	87,94
IL	Carrello 3 m	1,2	105,13
LM	Carrello 6 m	1,2	94,31
MN	Carrello 6 m	1,2	92,41

Durata tempi ciclo semplice di ogni tratta e fattore di sicurezza

Ottenuti questi risultati, abbiamo quindi potuto calcolare la Potenzialità di Movimentazione di un singolo carrello per ciascuna tratta. Essa rappresenta il numero di viaggi che, in un giorno da 15 ore lavorative, un carrello può compiere su una data tratta, calcolata con la seguente formula:

$$PM\ Carrello = \frac{3600 \frac{s}{h} * 15 \frac{h}{giorno}}{\text{Fattore di Sicurezza}} * \text{Durata Ciclo Semplice}$$

Dividendo poi la Potenzialità di Movimentazione richiesta dal progetto per quella del carrello, si ottiene il numero di carrelli necessari per coprire ciascuna tratta. La Potenzialità di Movimentazione del progetto altro non è che il numero di UDC spostate mediamente in un giorno calcolato precedentemente.

TRATTO	MEZZO	FATTORE DI SICUREZZA	TEMPO CICLO SEMPLICE [s]	PM CARRELLO [giorno]	PM PROGETTO [giorno]	NUMERO CARRELLI
AH	Carrello 6 m	1,2	131,89	341,19	23,00	0,07
BG	Carrello 6 m	1,2	97,20	462,95	21,00	0,05
CG	Carrello 6 m	1,2	108,98	412,93	85,00	0,21
DL	Carrello 6 m	1,2	114,42	393,29	107,00	0,27
DN	Carrello 6 m	1,2	134,49	334,59	220,00	0,66
EF	Carrello 6 m	1,2	96,55	466,09	119,00	0,26
GI	Carrello 3 m	1,2	86,99	517,31	92,00	0,18
IJ	Carrello 3 m	1,2	83,53	538,76	78,00	0,14
JK	Carrello 3 m	1,2	93,34	482,10	76,00	0,16
HK	Carrello 3 m	1,2	101,16	444,86	109,00	0,25
KL	Carrello 3 m	1,2	87,94	511,73	185,00	0,36
IL	Carrello 3 m	1,2	105,13	428,06	14,00	0,03
LM	Carrello 6 m	1,2	94,31	477,15	658,00	1,38
MN	Carrello 6 m	1,2	92,41	486,97	658,00	1,35

Calcolo del numero di carrelli necessari considerando la loro PM e quella richiesta dal progetto

I numeri di carrelli necessari ottenuti chiaramente non sono accettabili senza prima essere arrotondati. In questo senso, invece semplicemente di sommare tutti i valori ottenuti per ciascun tipo di carrello e arrotondare il risultato per eccesso, abbiamo deciso di abbinare in maniera efficiente le tratte e dedicare dei carrelli a ciascuno di questi abbinamenti. Con abbinamento efficiente intendiamo l'associare tratte quanto più vicine tra di loro e che tendono a condividere punti di partenza/arrivo, in modo da minimizzare gli spostamenti ulteriori dei carrelli. Questo riduce il grado di approssimazione del calcolo dei carrelli effettuato. Le scelte effettuate e i risultati ottenuti sono riportati nella tabella successiva, insieme alla saturazione dei carrelli impiegati.

TRATTE	MEZZO	CARRELLI IDEALI	CARRELLI EFFETTIVI	SATURAZIONE
DN-EF	6m	0,91	1	91,28%
AH-BG-CG-DL	6m	0,59	1	59,07%
LM-MN	6m	2,73	3	91,01%
GI-IJ-JK-IL	3m	0,51	1	51,30%
HK-KL	3m	0,61	1	60,65%

Calcolo finale numero di carrelli e saturazione della potenzialità di movimentazione

In conclusione, nel nostro stabilimento tutti i movimenti compiuti a partire dal magazzino materie prime all'inizio delle linee di assemblaggio saranno coperti da 5 carrelli con sollevamento fino a 6 metri e 2 carrelli con montanti fino a 3 metri, per un totale di 7 carrelli. La saturazione di alcuni di questi carrelli è relativamente bassa (lo sarebbe stata anche sommando tutti i valori tra di loro senza dedicare carrelli): questo non rende necessario l'acquisto, per esempio, di un ulteriore carrello per le emergenze. La scelta di impiegare montanti che portino le forche solo fino a 3 metri dove possibile è stata fatta per minimizzare quanto più possibile l'investimento iniziale.

Come accennato in precedenza, la tratta che collega la fine della linea d'assemblaggio al magazzino Prodotti Finiti è stata trattata a parte. I carrelli utilizzati per rifornire il magazzino PF sono del tipo a presa trilaterale, con potenzialità di sollevamento fino a 16-18 metri, quindi diversi da quelli calcolati in precedenza. Un qualsiasi carrello CATERPILLAR della linea NVT dovrebbe essere in grado di assolvere i compiti richiesti. L'altra cosa a differire da quanto fatto in precedenza è il calcolo della distanza in traslazione orizzontale che devono coprire. Infatti, al termine dell'assemblaggio, la fresatrice/trinciatutto completa si troverà sicuramente alla fine della linea a livello di posizione spaziale; quindi, considerare il baricentro delle linee non avrebbe alcun significato. Allo stesso modo, il magazzino Prodotti Finiti è rifornito solo da un lato, essendo costituito da scaffalature a gravità: il carrello non raggiungerà mai il baricentro del magazzino ma si fermerà all'inizio di esso per l'inserimento dell'UDC. Abbiamo quindi ipotizzato di lasciare una larghezza di 5 metri tra la fine dell'assemblaggio e l'inizio del magazzino, e usato questa grandezza per il calcolo della traslazione orizzontale. Questi 5 metri consentono ai carrelli di traslare agevolmente senza intralciarsi l'uno con l'altro, e sono anche utili per accatastare UDC di prodotto finito in maniera provvisoria in caso di ritardi. I dati utili e le specifiche del carrello sono riportati nella tabella seguente.

Distanza Orizzontale (media)	10 m
Distanza Verticale (media)	7,2 m
Velocità Traslazione	3,33 m/s
Velocità Sollevamento	0,48 m/s
Velocità Abbassamento	0,45 m/s
Tempo Fisso Presa	30 s
Tempo Fisso Posizionamento	45 s

Dati e specifiche utilizzati per calcolo carrelli

La distanza orizzontale da percorrere in una tratta è stata considerata di 10 metri: il carrello percorre due volte la larghezza di 5 metri tra assemblaggio e magazzino. Non essendo i confini di linea d'assemblaggio e magazzino perfettamente coincidenti è una distanza media. La distanza verticale da coprire è nuovamente la media tra l'altezza dell'ultimo vano e il piano di terra calcolata con la formula presentata precedentemente. Questo valore sarà ancora da raddoppiare in fase di calcolo della durata di un Ciclo Semplice (da considerare salita e discesa forche). Le specifiche del carrello sono state prese facendo una media delle specifiche dei carrelli di questo tipo, specifiche ricercate su cataloghi online. I tempi fissi sono gli stessi utilizzati per i carrelli precedenti. Con questi valori, abbiamo calcolato la durata di un Ciclo Semplice, sempre sommando i tempi di

traslazione, sollevamento, discesa e tempi fissi. I primi sono sempre ricavati come rapporto tra distanza da percorrere e velocità. Il risultato ottenuto è riportato.

Durata Ciclo Semplice	109,00 s
-----------------------	----------

In un'altra tabella, abbiamo riportato tutti i dati relativi al numero di UDC da movimentare mediamente in un giorno, calcolate come rapporto tra la Potenzialità di Movimentazione Richiesta mensile e i 22 giorni presenti mediamente in un mese. Insieme a questi dati è riportato anche il fattore di sicurezza.

Fresatrice Mese	29670 u
Trinciatutto Mese	28190 u
Fresatrici Giorno	1349 u
Trinciatutto Giorno	1282 u
Totale Giorno	2631 u
Fattore di Sicurezza	1,2

Dati relative alla potenzialità di movimentazione richiesta dal progetto

Passando dalla stessa formula usata prima per calcolare la Potenzialità di Movimentazione di un carrello, abbiamo calcolato il numero di carrelli idealmente necessari e quelli effettivi da acquistare.

PM Carrello	412,84 u/giorno
Numero Carrelli Ideale	6,372867
Numero Carrelli Effettivo	7

Risultati ottenuti con il calcolo dei carrelli necessari

Il risultato ottenuto di 7 carrelli a presa trilaterale è particolarmente adeguato a rifornire in maniera efficiente e ordinata il magazzino prodotti finiti. Infatti, possiamo ipotizzare di dedicare esattamente un carrello ad ognuna delle 6 linee di assemblaggio, tenendo il settimo carrello come “jolly” a supporto di tutte linee, che altrimenti accumulerebbero ritardi durante il turno.

5.2. Ricevimento e Spedizione merci

Inizialmente abbiamo calcolato la quantità necessaria durante l'intervallo di riordino di ogni componente, sufficiente a soddisfare la produzione richiesta dei due prodotti realizzati.

Assumendo che ogni camion consegna una sola tipologia di componente e sia riempito al massimo della sua capienza, compatibilmente con le caratteristiche del componente, abbiamo determinato la tipologia di automezzo più idonea al trasporto di ogni componente, al fine di minimizzare lo scarto tra quantità consegnata e quantità richiesta durante l'intervallo di riordino.

Lamierati, rastrelliere, alberi con frese, alberi completi di martelli e alberi di trasmissione per modelli 1500, vengono consegnati con bilico centinato standard, il quale presenta dimensioni utili interne (L x W x H) di 13,60 x 2,48 x 2,70 m.

Le ruote dentate coniche vengono consegnate con motrice centinata con sponda idraulica di dimensioni utili interne 9,60 x 2,48 x 2,70 m.

Infine, ruote dentate cilindriche e alberi di trasmissione per 1750 vengono consegnati con motrice centinata 7,20 con sponda idraulica di dimensioni utili interne di 7,20 x 2,48 x 2,70 m.

Abbiamo assunto, al fine di prioritizzare la variabile volume, che la portata massima del camion venga di volta in volta determinata in base alle caratteristiche del carico da trasportare. Tuttavia, ci siamo assicurati che tale portata non eccedesse i limiti massimi consentiti.

COMPONENTE	TOT QTA' GG UdC	UDC BASE CAMION	UNITA' PER CAMON	QTA' ORDINE PERIODICO	N° CAMION NECESSARI	N° CAMION PER FAMIGLIA	QUANTITA' IN ARRIVO	QUANTITA' IN ECESSO
LAM001	23	9	18	229	13		234	5
LAM002	21	18	36	208	6		216	8
LAM003	85	13	26	848	33	52	858	10
ING001	27	27	81	80	1		81	1
ING002	41	21	63	123	2	3	126	3
ALB001 (L=1500)	37	87	87	368	5		435	67
ALB002 (L=1750)	17	12	36	167	5	10	180	13
ASS001 F (L=1500)	79	13	26	393	16		416	23
ASS002 F (L=1750)	34	13	26	169	7	23	182	13
ASS003 T (L=1500)	75	13	26	374	15		390	16
ASS004 T (L=1750)	33	13	26	165	7	22	182	17
SAL001 T	75	13	26	747	29		754	7
SAL002 T	33	13	26	330	13	42	338	8
TOTALE							152	0

Abbiamo quindi determinato, utilizzando la formula riportata sotto, il numero di mezzi necessari ad ogni consegna di ciascun componente e successivamente raggruppato le diverse categorie per stimare il numero di consegne per famiglia di componente.

$$N^o \text{ Camion} = \left\lceil \frac{\text{Tot } UdC_{giornaliero} * IR}{UdC_{camion}} \right\rceil$$

- $Tot \text{ UdC}_{giornaliero}$: quantità necessaria giornalmente del componente i-esimo
- IR : intervallo di riordino del componente i-esimo
- UdC_{camion} : UdC del componente i-esimo trasportabili dal singolo camion, tenendo conto della capacità volumetrica del camion e della sovrapponibilità compatibile con l'altezza interna del cassone e con le caratteristiche del componente.

Considerando successivamente gli intervalli di riordino di ciascun componente, abbiamo ipotizzato una calendarizzazione delle consegne che consentisse di minimizzare gli arrivi nel giorno più trafficato. La Tabella

MESE 1	MESE 2	MESE 3	MESE 4	MESE 5	MESE 6
1 Ingranaggi e Alberi T	Rastrelliera	Alberi F	Ingranaggi	Alberi M	Ingranaggi e Alberi T
2 Lamierati	Alberi M	Ingranaggi		Alberi F	Lamierati e Ingranaggi
3 Rastrelliera	Ingranaggi e Alberi F		Alberi M	Ingranaggi e Alberi T	Rastrelliera
4 Ingranaggi e Alberi M			Ingranaggi e Alberi F	Lamierati	Alberi M
5 Alberi F		Ingranaggi e Alberi M	Alberi T	Rastrelliera	Ingranaggi e Alberi F
6 Ingranaggi		Alberi F	Lamierati	Ingranaggi e Alberi M	
7 Ingranaggi	Alberi M	Alberi T	Ingranaggi e Rastrelliera	Alberi F	
8 Alberi F		Lamierati e Ingranaggi	Alberi M		Ingranaggi
9 Alberi M	Ingranaggi e Alberi T	Rastrelliera	Alberi F	Ingranaggi	Alberi M
10 Ingranaggi e Alberi F	Lamierati	Alberi M	Ingranaggi		Alberi F
11 Alberi T	Rastrelliera	Ingranaggi e Alberi F		Alberi M	Ingranaggi e Alberi T
12 Lamierati	Ingranaggi e Alberi M			Ingranaggi e Alberi F	Lamierati
13 Ingranaggi e Rastrelliera	Alberi F		Ingranaggi e Alberi M	Alberi T	Rastrelliera
14 Alberi M		Ingranaggi	Alberi F	Lamierati	Ingranaggi e Alberi M
15 Alberi F	Ingranaggi	Alberi M	Alberi T	Ingranaggi e Rastrelliera	Alberi F
16 Ingranaggi		Alberi F	Lamierati e Ingranaggi	Alberi M	
17 Alberi M	Ingranaggi e Alberi T	Rastrelliera	Alberi F	Ingranaggi	
18 Ingranaggi e Alberi F	Lamierati	Alberi M	Ingranaggi		
19 Ingranaggi e Alberi M	Alberi T	Rastrelliera	Ingranaggi e Alberi F		Alberi M
20 Alberi F	Lamierati	Ingranaggi e Alberi M			Ingranaggi e Alberi F
21 Alberi T	Ingranaggi e Rastrelliera	Alberi F		Ingranaggi e Alberi M	Alberi T
22 Lamierati e ingranaggi	Alberi M		Ingranaggi	Alberi F	Lamierati

Arrivi simultanei
 Lamierati
 Alberi con martelli
 Alberi con frese
 Rastrelliera
 Alberi di trasmissione
 Ingranaggi

Programmazione arrivi

illustra la programmazione degli arrivi da noi adottata, nella quale la consegna maggiore si ha nel giorno in cui lamierati e ingranaggi vengono consegnati insieme (55 camion totali).

Abbiamo quindi calcolato il numero di banchine necessarie, applicando la seguente formula:

$$N^{\circ} \text{ Banchine} = \left\lceil \frac{N_{camion} * t_s}{T_{Disponibile}} \right\rceil$$

- N_{camion} : camion che consegnano nel giorno più trafficato. Nel nostro caso, nel giorno di consegna di lamierati e ingranaggi, sono 55.
- t_s : tempo di scarico della merce (45 min)
- T_{Disp} : tempo disponibile ogni giorno; due turni da 7,5 h l'uno (900 minuti totali)

Otteniamo quindi che il numero minimo di banchine necessarie è 3.

Per affrontare ritardi, consegne non pianificate e operazioni di manutenzione, abbiamo contemplato la possibilità di arrivi di consegne non programmate. Per stimare il numero di veicoli in arrivo in tale scenario, abbiamo calcolato la media di tutte le consegne possibili programmate, ottenendo un valore di 29 camion. Considerando quindi il giorno più trafficato della programmazione combinato con la consegna imprevista stimata, abbiamo ricalcolato il numero di banchine necessarie utilizzando la formula già menzionata, giungendo alla conclusione che sono necessarie 5 banchine.

Il punto di carico è configurato utilizzando i sistemi basilari per un suo corretto utilizzo: rampa di carico per colmare i dislivelli, portone sezionale che consente l'ingresso al pianale di carico e la chiusura del vano, e tamponi respingenti in gomma che proteggono la baia da urti e danneggiamenti.

Le dimensioni sono tali da consentire il carico e lo scarico di camion della dimensione posteriore di 2,48 x 2,70 m.

La produzione continua libera costantemente e regolarmente vani all'interno del magazzino materie prime. Inoltre, poiché gli arrivi di materie prime sono sfalsati e programmati in modo uniforme, l'inventario di picco di un prodotto non coincide con quello degli altri prodotti. Questo permette di gestire senza problemi la quantità in eccesso di ogni ordine, occupando i vani liberi.

Quando l'accumulo di unità di carico in eccesso raggiunge l'equivalente di un camion di prodotto, l'ordine successivo viene modificato in modo tale da far arrivare un camion in meno.

Successivamente, tramite la seguente formula abbiamo ricavato la superficie di ricevimento merci.

$$\text{Area ricevimento merci} = A * Q * t_m$$

Il valore di A, area di base di un UdC, calcolato facendo una media pesata utilizzando le quantità dei componenti in arrivo nel giorno più trafficato, corrisponde a 1,92 m²; il valore di Q, numero di UdC di materia prima in ingresso per unità di tempo, corrisponde a 101 UdC/h; il valore di t_m coincide con t_s (0,75 h).

Si ottiene pertanto la dimensione dell'area di ricevimento merci: 145,38 m².

Per migliorare la stima di cui sopra, abbiamo calcolato l'ingombro a pavimento del contenuto di un camion accatastato, per ogni componente. Considerando successivamente l'arrivo simultaneo della catasta con l'ingombro a pavimento più alto (27 m²) in tutte le banchine previste, lo spazio tra le cataste necessario per garantire l'agevole movimentazione dei carrelli a forche, abbiamo aumentato l'area di ricevimento a circa 384 m².

Nel modello CAD, all'interno della zona ricevimento merci sono presenti alcuni rettangoli tratteggiati che rappresentano la posizione ipotetica di cataste di materiali. Le dimensioni di queste cataste variano a seconda del componente che viene accatastato.

COMPONENTE	INGOMBRO CATASTA UDC [m ²]
LAM001	27
LAM002	27
LAM003	26
ING001	16
ING002	13
ALB001 (L=1500)	22
ALB002 (L=1750)	11
ASS001 F (L=1500)	13
ASS002 F (L=1750)	13
ASS003 T (L=1500)	13
ASS004 T (L=1750)	13
SAL001 T	26
SAL002 T	26

Ingombro di un camion di componente accatastato

Per svolgere al meglio l'operazione di spedizione e ridurre gli spazi dedicati a questa attività, abbiamo svolto i seguenti calcoli al fine di calcolare il numero minimo di banchine.

L'analisi è stata effettuata tenendo in considerazione i seguenti fattori fondamentali:

- La quantità che l'azienda spedisce quotidianamente è pari a quella prodotta ogni giorno; vengono quindi spedite 175 UdC/h.
- Le possibili ore di carico/scarico delle UdC sono 15 al giorno poiché entrambi i magazzini osservano il seguente orario: dalle 6:00 alle 22:00, con due pause pranzo di 30 minuti ciascuna. Le consegne sono state concordate con i fornitori in maniera tale da essere suddivise uniformemente durante le 15 ore di attività del magazzino.
- Utilizziamo, per la spedizione dei prodotti finiti, un bilico centinato standard con dimensioni utili interne specificate in precedenza.

La seguente tabella riporta il dettaglio dei prodotti spediti.

PRODOTTO	QTA'/GIORNO	DIMENSIONI UDC	SOVRAPPONIBILITA'
FRESATICI 1500	944	1500x2000x1000	2
FRESATICI 1750	405	1500x2000x1000	2
TRINCIATUTTO 1500	897	1500x2000x1000	2
TRINCIATUTTO 1750	384	1500x2000x1000	2
TOTALE	2630		

Quantità di prodotti spediti ogni giorno

Il numero di banchine è stato quindi calcolato mediante la seguente formula:

$$N^{\circ} \text{ Banchine} = \left\lceil \frac{N^{\circ} \text{ Camion Totali} * t_c}{T_{Disp}} \right\rceil$$

dove *N° Camion Totali* sono i camion che partono dall'area spedizione in un giorno, per garantire la soddisfazione della domanda; *t_c* è il tempo di carico (assunto uguale al tempo di scarico) e *T_{Disp}* è il tempo disponibile quotidianamente per il carico, uguale all'orario del magazzino.

Infine, abbiamo stimato l'area spedizione applicando la formula già utilizzata in precedenza per la stima dell'area ricevimento merci, con Q uguale a 175 UdC/h e A pari a 3 m^2 , area di base delle UdC spedite.

L'area spedizione risulta quindi essere pari a 394 m^2 .

I prodotti finiti vengono allocati sugli scaffali dedicati del magazzino, e il loro posizionamento sui camion segue un flusso continuo. L'ipotesi è quella di caricare direttamente le UdC sui camion, evitando idealmente la formazione di cataste o riducendone le dimensioni quando necessario.

Questo approccio consente di ottimizzare gli spazi dell'area di spedizione, che viene sottodimensionata a circa 300 m^2 per massimizzare l'efficienza.

Per ultimare il ragionamento, abbiamo calcolato il numero dei carrelli necessari per portare le UDC in entrata dai camion al magazzino MP e per caricare i prodotti finiti in uscita sui camion. Entrambe queste fasi sono gestite tramite l'utilizzo di carrelli elevatori.

Le specifiche considerate, al fine di ottenere approssimazioni significative e il più possibile vicine alla realtà, sono ancora quelle del modello EP20AN di CATERPILLAR.

Tuttavia, avendo scelto di caricare/scaricare i camion facendo salire i carrelli direttamente sui rimorchi, una particolare attenzione andrà data, nella realtà, a utilizzare carrelli la cui altezza totale non superi i 2,7 metri di altezza massima.

Per calcolare il numero di carrelli necessari per il ricevimento e stoccaggio, abbiamo ipotizzato cicli semplici con partenza dal camion, deposito diretto negli scaffali e ritorno al camion.

In generale abbiamo considerato il giorno del calendario arrivi in cui il numero di UDC è più alto: riuscendo a gestire il *worst case scenario* abbiamo la garanzia di avere un sufficiente numero di carrelli per qualsiasi altra combinazione di merci in arrivo.

Questo vale ancora di più perché il giorno con più UDC in arrivo è, casualmente, anche quello in cui le merci da stoccare sono negli scaffali più distanti dall'area di ricevimento. Le merci in questione sono lamierati e ingranaggi, entrambi situati agli estremi del magazzino. Si riportano i dati sulle distanze da percorrere sia in termini di movimento delle forche sia di traslazione orizzontale.

UDC Massime Ricevute	1515	u
Ascissa Baricentro Lamiere	12,65	m
Ascissa Area Ricevimento	69,3	m
Distanza Asse y	33,8	m
Distanza Asse x	56,65	m
Distanza Rettangolare	90,45	m
Sollevamento Medio Scaffali	3	m
Sollevamento Medio Camion	0,5	m

Distanze di traslazione orizzontale e di sollevamento da coprire

Come in precedenza, l'area di ricevimento e il magazzino sono stati posizionati sul piano cartesiano. Dopo aver ipotizzato che tutte le 1515 UDC siano dirette agli scaffali delle lamiere (nella realtà una parte è di ingranaggi, ma la distanza dall'area di ricevimento è approssimativamente la stessa), è stato possibile calcolare le distanze da percorrere sugli assi x e y.

La distanza sull'asse x è la differenza tra l'ascissa dell'area di ricevimento e del baricentro delle lamiere. Sull'asse y la distanza invece è pari all'ordinata del baricentro delle lamiere sommata alla profondità totale dell'area di ricevimento, poiché i carrelli partono dalle banchine che sono sul lato esterno.

Sommando queste distanze si ottiene la distanza rettangolare totale da percorrere a viaggio. Il sollevamento medio nel posizionamento sugli scaffali è la mediana dell'altezza massima di sollevamento (6 metri). Il

sollevamento medio dentro al camion invece è un valore stimato ipotizzando due UDC una sopra l'altra. Di seguito sono riportate le specifiche del carrello e i valori dei tempi fissi.

Velocità Traslazione	4,7	m/s
Velocità Discesa	0,56	m/s
Velocità Sollevamento con Carico	0,42	m/s
Velocità Sollevamento senza Carico	0,62	m/s
Tempo Fisso Presa	45	s
Tempo Fisso Posizionamento	45	s
Fattore di Sicurezza	1,2	

Specifiche carrello utilizzato

I tempi fissi di presa e posizionamento sono gli stessi: consideriamo l'accesso al rimorchio del camion come fosse un accesso ad uno scaffale (e non un posizionamento a terra). Raddoppiando poi tutte le distanze di sollevamento e traslazione per compiere un ciclo completo andata e ritorno, si ottengono le durate riportate sotto.

Durata Traslazione	38,49 s
Durata Sollevamenti	14,20 s
Durata Tempi Fissi	90,00 s

Intervalli di tempo che compongono un ciclo semplice

Sommendo tutti questi intervalli di tempo si ottiene la durata di un ciclo semplice. Con questa durata, utilizzando ancora la formula riportata nel capitolo “Movimentazione Interna”, si calcola la potenzialità di movimentazione di un carrello.

Durata Ciclo Semplice	142,689 s
PM Carrello	315,372 u/giorno

Potenzialità di movimentazione giornaliera di un carrello

Ritornando poi alle 1515 unità precedenti, si ottiene un numero di carrelli ideale e poi uno effettivo.

Numero Carrelli Ideale	4,80385
Numero Carrelli Effettivo	5

Numero carrelli necessari per stoccare merci in arrivo a magazzino

Nella realtà, il ciclo semplice considerato finora sarà in realtà spezzato in due parti, con la formazione prima di una catasta provvisoria nell'area di ricevimento e poi lo stoccaggio a magazzino. In questo scenario i tempi hanno un peso maggiore, ma i carrelli acquistati dovrebbero riuscire a compiere tutti gli spostamenti necessari, non essendo la loro potenzialità completamente saturata. Eventualmente, altri carrelli dell'area di produzione possono essere temporaneamente impiegati per supportare le operazioni di ricevimento. Tutti i carrelli calcolati finora sono con forche fino a 6 metri, per poter accedere a tutti i vani del magazzino.

Passando ora ai carrelli per riempire i camion di spedizione, la logica di calcolo è simile alla precedente, con la differenza che la distanza orizzontale da coprire è solo dal limite del magazzino prodotti finiti, dove il trasloelevatore automatico presenta l'UDC, fino a dentro al rimorchio.

L'UDC che viene caricata viene presa da terra, quindi uno dei tempi fissi è solo di 30 secondi. Sono riportati i dati utilizzati.

UDC in Spedizione (media giorno)	2630	u
Distanza Orizzontale a/r (media)	30	m
Distanza Verticale (media)	0,5	m
Velocità Traslazione	4,7	m/s
Velocità Discesa	0,56	m/s
Velocità Sollevamento con Carico	0,42	m/s
Tempo Fisso Presa	30	s
Tempo Fisso Posizionamento	45	s
Fattore di Sicurezza	1,2	

Dati utilizzati per calcolo carrelli

In maniera analoga a prima, calcoliamo durata di ciclo semplice e numero di carrelli effettivo.

Durata Ciclo Semplice	83,47 s	Numero Carrelli Ideale	4,878142
PM Carrello	539,14 u/giorno	Numero Carrelli Effettivo	5

Numero carrelli necessari per caricare Fresatrici e Trinciatutto sui camion

In base alle caratteristiche delle UdC e all'altezza dei camion, per il carico dei prodotti finiti è sufficiente acquistare carrelli con forche a 3 metri.

5.3. Area di Picking per Assemblaggio

Nella parte superiore destra del magazzino materie prime, abbiamo dedicato uno spazio all'area di picking, nella quale vengono assemblati i "kit di montaggio", contenenti i componenti più piccoli destinati direttamente all'assemblaggio. Il processo di picking, fondamentale nell'ottica della lean manufacturing, ottimizza il flusso di lavoro, riducendo i tempi di assemblaggio attraverso la diminuzione del tempo di movimentazione delle componenti. Inoltre, contribuisce a minimizzare gli errori umani nel prelievo dei componenti necessari al momento dell'assemblaggio e garantisce un più efficace controllo della gestione di tali componenti, evitando accumuli eccessivi di diverse UdC in prossimità delle linee di assemblaggio

Per determinare il numero di linee di picking necessarie, abbiamo calcolato la quantità richiesta di kit per ciascun prodotto in un'ora di assemblaggio, basandoci sui relativi tempi ciclo.

Prodotto	Dimensioni	Tempo considerato (min)	Tempo ciclo	Kit richiesti/h
Trinciatutto	L=1500	60	1,7	36
	L=1750	60	1,7	36
Fresatrice	L=1500	60	1,8	34
	L=1750	60	1,8	34

Dati utilizzati per il calcolo delle linee di picking

Considerando le quantità necessarie di kit e la disposizione delle linee di assemblaggio, abbiamo deciso di organizzare tre linee di assemblaggio kit: una per i kit destinati alle linee di assemblaggio della fresatrice lunga 1500 mm, una per quelli destinati alle linee della trinciatutto lunga 1500 mm e una dedicata ai prodotti di lunghezza 1750 mm. Di conseguenza, ciascuna linea di picking produrrà ogni ora:

- 68 kit per la linea "fresatrice"
- 72 kit per la linea "trinciatutto"
- 70 kit per la linea "prodotti L = 1750" (rispettivamente 34 per fresatrice e 36 per trinciatutto)

Ogni linea di kitting ha dimensioni di 8 m x 0,5 m e presenta tre postazioni: una per le ruote coniche, una per le ruote cilindriche e una per l'albero di trasmissione, i tre componenti di ciascun kit. Nello specifico, ogni kit è composto da 3 ruote cilindriche, 2 ruote coniche e un albero di trasmissione, con lunghezza di 1500 o 1750 mm a seconda del prodotto da realizzare. I kit vengono assemblati utilizzando contenitori impilabili in plastica, appositamente realizzati nelle dimensioni 1 m x 0,3 m x 0,10 m per i prodotti di lunghezza 1750mm e 0.8m x 0.3m x 0.10m per i prodotti di lunghezza 1500mm, come mostrato nell'immagine successiva.



Contenitore impilabile in plastica

I contenitori vengono posizionati su un nastro trasportatore che li muove lungo le tre postazioni. In ciascuna postazione, un operatore inserisce nel contenitore la quantità richiesta di ciascun componente, prelevandola da una unità di carico posizionata alla sua destra.

Poiché ogni linea di picking è associata a due linee di assemblaggio, alla fine di ogni nastro trasportatore sono posizionati due rimorchi per trattorini, sui quali un quarto operatore sposterà i kit completati. Abbiamo scelto la soluzione del trattorino per la sua comodità rispetto ad altri mezzi di trasporto nella distribuzione dei kit alle linee. In particolare, abbiamo optato per il trattorino della linea Still, con una portata massima di 3000 kg e la possibilità di trainare fino a 5 rimorchi, e i relativi carrelli, nelle dimensioni di 1200 mm x 1000 mm x 360 mm.



Trattorino e rimorchio

Questa tipologia di rimorchi ci consente di organizzare i 34 kit per il prodotto fresatrice e i 36 kit per il prodotto trinciatutto su quattro colonne per nove file, raggiungendo un'altezza massima di 1,26 m. Ogni rimorchio, contenente la quantità di kit precisa per ciascuna linea di assemblaggio, sarà poi agganciato al trattorino e posizionato direttamente di fronte alla relativa linea di assemblaggio. L'altezza massima raggiungibile e il peso massimo di ciascun kit (12,2kg) consentono all'operatore di effettuare le operazioni di carico e scarico dei rimorchi senza l'ausilio di attrezzature meccaniche.

Il numero di trattorini necessario è stato stimato sulla base di tre vincoli principali: vincolo temporale, portata massima del trattorino e numero massimo di rimorchi trainabili.

Linea	Kit/h	Kg kit	kg rimorchio	kg tot
Fresatrice L=1500	68	10,2	52	745,6
Trinciatutto L=1500	72	10,2	52	786,4
Prodotti L=1750	70	12,2	52	906

Informazioni relative al trasporto dei kit

Come risulta evidente dalla tabella, poiché il peso complessivo dei sei rimorchi è pari a 2438 kg, ogni trattorino soddisfarebbe ampiamente i requisiti di carico. Tuttavia, dato che il numero massimo di rimorchi trainabili è 5, abbiamo necessariamente bisogno di almeno due trattorini. Considerando poi che la quantità di kit necessaria è stata calcolata su base oraria, e che quindi avvenga uno spostamento ogni ora, abbiamo stimato che due trattorini siano sufficienti a soddisfare la richiesta.

6. Personale

Sulla base delle dimensioni dell'impianto e sulla quantità di pezzi da produrre, si è proceduto a valutare il numero di addetti necessari, al fine di garantire un adeguato supporto alle attività produttive.

Per il personale diretto, ovvero gli addetti direttamente coinvolti nelle attività di produzione e gestione operativa dell'impianto, abbiamo considerato un operatore per ogni macchina. Dal momento che gli operatori dello stabilimento lavorano su due turni, abbiamo raddoppiato il numero del personale necessario per ogni zona.

MACCHINE/LAVORAZIONI	N. ADDETTI per turno	N. ADDETTI per gg
CELLE	8	16
TRANCIATURA	10	20
PRESSOPIEGA	7	14
SALDATURA	30	60
ASSEMBLAGGIO	24	48
PICKING	12	24
IMBALLAGGIO	3	6
CARRELLISTI	24	48
TOTALE	118	236

Personale diretto

Per quanto riguarda il personale indiretto, composto dai dirigenti e dagli impiegati che prevalentemente ricoprono ruoli di supporto amministrativo e gestionale, la quantità è stata determinata in base alla proporzione rispetto al numero di dipendenti diretti, stabilendo che costituiscano il 20% di quest'ultimi. Inoltre, sono stati dettagliati i ruoli specifici assegnati a ciascun componente del personale indiretto e fissata la quantità necessaria per la corretta efficienza dello stabilimento.

PERSONALE INDIRETTO	
Qualifica	Numero
Direttore di stabilimento	1
Addetto alla segreteria di direzione	2
Responsabile Produzione	1
Responsabile HR	1
Impiegato HR	2
Capo Reparto	10
Responsabile Qualità	1
Addetto Qualità Forniture	4
Responsabile Manutenzione	1
Addetto Manutenzione	7
Responsabile Tecnologo	1
Addetto Tecnologo	4
Responsabile amministrativo	1
Impiegato amministrativo	4
Responsabile logistica	1
Impiegato ufficio logistica	2
Responsabile acquisti	1
Impiegato uffici acquisiti	2
Responsabile sicurezza	1
Responsabile Commerciale	1
TOTALE	48

Personale indiretto

Si può quindi concludere che il personale indiretto sia composto da 48 operatori giornalieri mentre quello diretto da 236 e che il numero complessivo di personale necessario per il corretto funzionamento dello stabilimento sia di 284 operatori al giorno.

	PERSONALE INDIRETTO	PERSONALE DIRETTO	TOT
Turno	-	118	-
Giorno	48	236	284

Numero complessivo di addetti

7. Gestione Scarti

Per quanto riguarda la gestione degli scarti, abbiamo calcolato la quantità di materiale non conforme giornalmente per ogni area. Il calcolo è stato eseguito considerando la percentuale di scarto indicato nella distinta base per ogni lavorazione. L'operatore addetto alla postazione si occuperà di non far procedere il pezzo nella stazione successiva, ma di riporlo, aiutato da opportuni ausili, in un contenitore industriale dedicato per gli scarti. In particolare, le quantità per ogni turno sono elencate nella seguente tabella:

SCARTO	TRNC-CELLE	PSP-CELLE	TRNC	PSP	SALD
PEZZI/GG	28	55	185	310	82
PEZZI/TURNO	14	28	93	155	41

Scarti di produzione

Un carrello si occuperà della movimentazione di questi contenitori trasportandoli fino all'area destinata agli scarti.

Nell'area scarti, i componenti che provengono dalla zona saldatura vengono separati attraverso una macchina taglio laser per metallo, che separerà i componenti saldati insieme. Questa macchina sarà azionata da un operaio.

I materiali che arrivano dalla tranciatura e dalla pressopiegatura non prevedono alcuna lavorazione ulteriore.

Tutti i materiali vengono trasferiti, grazie all'ausilio di un braccio meccanico, all'interno di un contenitore con fondo apribile per la raccolta di rifiuti industriali che una volta caricato sarà posizionato all'esterno dello stabilimento in un'area apposita.



Contenitore industriale a fondo apribile

Qui, verrà prelevato da un'azienda esterna che si occuperà del riciclo dei materiali.

Dopo un'accurata analisi, abbiamo ritenuto che l'azienda esterna in questione fosse la “[Miglioli](#)” a Cremona e quindi situata nei pressi del nostro stabilimento. L'azienda, infatti, da anni è specializzata nella lavorazione e nel successivo recupero dei metalli. All'interno del loro impianto, i metalli subiscono un ridimensionamento volumetrico tramite un trituratore. In questo modo, possono essere inviati ad acciaierie e fonderie per essere reintrodotti nuovamente nel mercato.

<https://www.migliolicremona.it/recuperometallileghe.php>

Questa organizzazione del processo di gestione degli scarti mira ad operare in un'ottica più sostenibile, riducendo al minimo gli sprechi e promuovendo il riciclo dei materiali.

8. Caratteristiche del fabbricato

Disposizione dell'edificio

La struttura comprende un'area principale in cui si articola la produzione e, a sud di essa, un'area adibita ad uffici e servizi per il personale. La prima comprende zone dedicate allo svolgimento delle attività principali di produzione, aree ricevimento e spedizione merci, magazzini, aree di buffer interoperazionali e linee di assemblaggio. La seconda invece comprende una zona adibita alle funzioni di supporto, quali uffici, mensa, infermeria, spogliatoi e servizi igienici per il personale.

Posizione di funzioni di supporto e corridoi

Magazzini. I due magazzini sono posizionati su due lati contigui dell'edificio, data la disposizione ad L di quest'ultimo.

Uffici. Sono posizionati in prossimità della mensa e dell'area dedicata ai servizi. In questo modo, consentono ai dipendenti di accedere comodamente alle risorse necessarie per svolgere le proprie mansioni. Occupano una superficie di 190 m²

Arene di ristoro. Sono distribuite in modo uniforme nell'edificio, in prossimità delle aree di produzione, per permettere agli operatori di accedervi con facilità senza dover percorrere lunghe distanze.

Infermeria. L'infermeria è posizionata nelle vicinanze dell'ingresso al fine di facilitarne il raggiungimento da parte degli operatori sanitari provenienti dall'esterno. Essa occupa una superficie di 80,5 m².

Mensa. La mensa è situata ad ovest delle banchine di ricevimento merci ed ha una dimensione di 253 m², calcolata utilizzando il numero di operatori contemporaneamente presenti nell'edificio.

Spogliatoi. Gli spogliatoi occupano un'area di 200 m². Essi sono destinati al personale diretto e ai capi reparto. La loro posizione strategica in prossimità dell'entrata è finalizzata a garantire un accesso agevole e veloce ai dipendenti, evitando perdite di tempo legate a spostamenti prolungati tra la zona degli spogliatoi e quella di produzione.

Attrezzeria e manutenzione. Un'area di dedicata alla gestione degli attrezzi e alle attività di manutenzione. Essa è situata nei pressi delle celle, della traciatura e della pressopiegatura al fine di consentire interventi tempestivi per risolvere eventuali problemi alle macchine.

Isola tecnica. Area adiacente all'edificio principale dedicata alle operazioni tecniche specializzate, situata al fianco dell'attrezzeria.

Servizi igienici. I servizi igienici sono sparsi all'interno dello stabilimento in posizioni strategiche per agevolarne l'utilizzo da parte dei lavoratori.

Postazioni ricarica carrelli. Queste sono distribuite per consentire un'efficace ricarica dei carrelli in ogni area.

Area Scarti. Quest'area di 30 m² è prevista in prossimità di un portone d'uscita per consentire il passaggio del contenitore di scarti che verrà prelevato da un'azienda esterna.

Corridoi. La disposizione dei corridoi è influenzata dalla disposizione ad L scelta per lo stabilimento. Essi garantiscono il facile raggiungimento di ogni area dello stabilimento.

Caratteristiche

Dimensioni. L'edificio ricopre una superficie totale di 24153 m². L'altezza netta massima sotto filo catena è di 18 m.

Selezione del tetto. Il tetto selezionato è il tetto a falde con fasce finestrate. Prima di tutto le fasce finestrate permettono un'illuminazione naturale dell'ambiente interno, riducendo così i costi energetici. Inoltre, la forma inclinata del tetto a falde facilita il deflusso delle acque piovane, prevenendo potenziali danni strutturali.

Struttura portante. Il materiale selezionato per l'edificio è l'acciaio. Abbiamo scelto inoltre una maglia di pilastri in cemento armato precompresso per la loro ottima resistenza al fuoco e agli agenti corrosivi. Travi connettenti collegano tra loro i pilastri, mentre pannelli sandwich in lamiera di acciaio costituiscono le pareti, garantendo un ottimo isolamento termico e acustico. Le misure adottate per la maglia sono di 24x12 m con pilastri di 0,5x0,5 m.

Illuminazione. Per garantire un'illuminazione corretta e uniforme, abbiamo optato per un impianto di illuminazione costituito da una serie di lampade a LED con sensori di luminosità. Questi sensori regolano automaticamente l'intensità della luce in base alla luce naturale presente, assicurando che gli spazi siano sempre adeguatamente illuminati durante le ore lavorative. L'illuminazione esterna è invece costituita da lampade a LED con sensore crepuscolare e pannello fotovoltaico. Queste lampade sono più efficienti delle tradizionali lampade ad incandescenza; infatti, i sensori consentono di accendere le luci automaticamente al tramonto e spegnerle all'alba. I pannelli fotovoltaici invece consentono un notevole risparmio di energia elettrica.

Porte esterne. I portoni sono distribuiti su ogni lato del magazzino, con ulteriori aperture lungo i quattro lati dello stabilimento per agevolare l'accesso e, all'occorrenza, fungere da uscite di emergenza. Queste porte garantiscono infatti un adeguato percorso di evacuazione.

Griglie di protezione. In produzione, alcune griglie di protezione sono utilizzate per motivi di sicurezza. Sono posizionate dove ci sono macchine automatiche per proteggere i lavoratori dal movimento del robot.

Descrizione del piano regolatore generale

Posizione dell'impianto. L'impianto è situato nei pressi di Maleo in provincia di Lodi. La scelta di posizionare l'impianto in quest'area è motivata dalla facilità di accesso alla strada e di conseguenza una semplificazione del traffico sia per le auto dei lavoratori che per i camion.

Funzioni di supporto

Parcheggi. Il parcheggio è situato in una posizione centrale fra i due magazzini e occupa un'area di circa 5420m². Sono calcolati 225 posti auto calcolati tenendo conto di tutto il personale indiretto, tutto il personale diretto per un singolo turno e circa metà del turno successivo. Questo perché ipotizziamo l'utilizzo dei mezzi pubblici da parte dei lavoratori grazie alla posizione strategica dello stabilimento in relazione ad essi. Sono compresi 4 parcheggi per le persone con disabilità.

Zona verde. Una zona verde è situata all'esterno a sud dello stabilimento, nei pressi delle banchine di scarico merci. Essa è necessaria a far defluire e assorbire le acque piovane, a ridurre l'impatto termico urbano e in generale a migliorare la qualità dell'ambiente circostante.

Recinto. Un recinto è posizionato intorno a tutta l'area dell'impianto al fine di delimitarla.

Sicurezza

La sicurezza all'interno dell'azienda è gestita in conformità al D. Lgs. 81/08, il "Testo unico sulla sicurezza e salute nei luoghi di lavoro". In questo paragrafo citeremo e descriveremo brevemente le misure di prevenzione e protezione che abbiamo individuato e adottato nel nostro impianto, basandoci sul Documento di Valutazione del Rischio (DVR).

Da un'attenta analisi e valutazione dei rischi nell'unità produttiva, abbiamo definito le necessarie misure di prevenzione e protezione. Esse includono sia i dispositivi di protezione individuale come scarpe antinfortunistiche, elmetti, mascherine, occhiali, guanti, sia i dispositivi di protezione collettiva come illuminazione di emergenza, percorsi di esodo, segnaletica, estintori, impianti antincendio e griglie di protezione.

Per il corretto dimensionamento del fabbricato industriale, in conformità all'allegato IV del D. Lgs. 81/08 sui "Requisiti dei luoghi di lavoro", abbiamo previsto 14 percorsi di esodo e uscite di sicurezza, calcolati in base al numero di persone presenti, alle caratteristiche geometriche e al layout aziendale.

Infine, nel rispetto delle norme di sicurezza, oltre all'adozione di un'adeguata segnaletica, abbiamo installato l'illuminazione di emergenza che indica le vie di fuga e le uscite di sicurezza.

9. Ubicazione

Per quanto riguarda la macro-localizzazione, abbiamo adottato il metodo del CoG (Centro di Gravità). Questo approccio ci permette di individuare il punto geografico ottimale, tenendo conto delle distanze dai fornitori e dai clienti, nonché del numero di trasporti necessari per soddisfare le loro esigenze.

Il calcolo inizia localizzando i fornitori delle materie prime e/o dei semilavorati necessari alla nostra produzione, insieme agli acquirenti dei nostri prodotti.

La tabella di seguito riporta le potenziali utenze inizialmente selezionate. Inoltre, data la notevole quantità prodotta giornalmente, abbiamo deciso che forniremo più di un cliente, ipotizzando che ogni cliente sia fornito in uguale quantità. Tuttavia, attraverso valutazioni di natura economica e geografica, siamo giunti alla seguente riduzione:

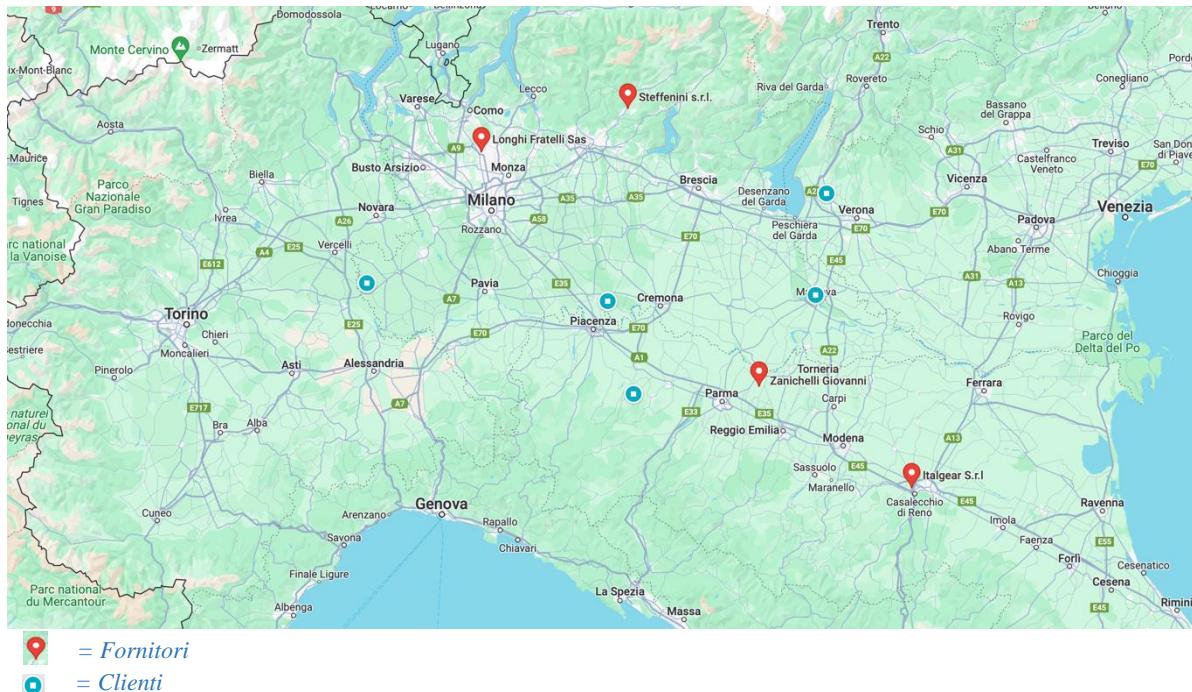
Materie Prime	
Lamierati	LOGHI FRATELLI SAS
1500x2000x300 - 1000x1500x300 - 1000x2000x300	
Semi Lavorati esterni	
Ingranaggi	ITALGEAR SRL
Ruote Dentate Coniche - Ruote Dentate Cilindriche	
Alberi di Trasmissione	TORNERIA ZANICHELLI GIOVANNI S.R.L.
Albero con Martelli - Albero con Frese - Rastrelliera	O.M.S. STEFFENINI S.R.L.

Prodotti Finiti
AZIENDA BIOLOGICA LESCA
BOGHESIANA AZIENDA VITIVINICOLA
MOLINI ROSIGNOLI
AZIENDA AGRICOLA BOSCAINI CARLO

Tabelle con fornitori e clienti

Tale conclusione è il risultato di un processo di calcolo volto a individuare le opzioni più convenienti sotto entrambi gli aspetti. È importante sottolineare che la lista è modificabile tramite l'aggiunta di ulteriori aziende, purché i costi di trasporto non generino perdite economiche, ma piuttosto garantiscono un ritorno positivo.

La seguente mappa raffigura i dati nella tabella sopra.



Prima di determinare le coordinate dello stabilimento, è essenziale calcolare il numero di mezzi di trasporto richiesti e la loro capacità massima, sia in termini di Unità di Carico che di peso. Questo ci consentirà di escludere il fattore che satura il minor numero di camion. Nel nostro contesto, il parametro determinante è la capacità volumetrica

Abbiamo successivamente adottato un sistema di coordinate che rappresenti un piano anziché il globo terrestre. Ciò comporta la conversione delle coordinate di latitudine e longitudine (es. {45.65782218796733, 9.140256585245668}) in coordinate UTM (Universal Transverse Mercator), che suddividono il globo in zone (es. {32T}), esprimendo le coordinate come valori x e y; (es. {5056012,541, 510923,639}).

Moltiplicando queste coordinate per i valori delle Unità di Carico per camion, otterremo il Centro di Gravità desiderato. Questo punto geografico rappresenterà l'ubicazione ottimale per il nostro impianto industriale.

CENTRO DI GRAVITÀ							
		X	Nº CAMION	X*NºCAMION	Y	Nº CAMION	Y*Nº CAMION
FORNITORI	MP / SL						
	LAMIERE	5056012,541	110	556161379,51	510923,639	110	56201600,29
	INGRANAGGI	4928831,158	21	103505454,32	679858,702	21	14277032,74
	ALBERI DI TRASMISSIONE	4967045,955	14	69538643,37	619262,051	14	8669668,71
CLIENTI	ALBERI CON MARTELLI - ALBERI CON FRESE E RASTRELLIERE	5073016,426	264	1339276336,46	566992,412	264	149685996,77
	Azienda Biologica Lesca	5008276,746	797,5	3994100704,94	466602,305	797,5	372115338,24
	Borghesana Azienda Vitivinicola	4965153,462	797,5	3959709885,95	570517,464	797,5	454987677,54
	Molini Rosignoli	5004594,873	797,5	3991164411,22	640470,882	797,5	510775528,40
	Azienda Agricola Boscaini Carlo	5043689,331	797,5	4022342241,47	643806,872	797,5	513435980,42
	Nº C TOT	2801,5	14013456815,76			2801,5	1566712842,69

Calcoli per determinazione del centro di gravità

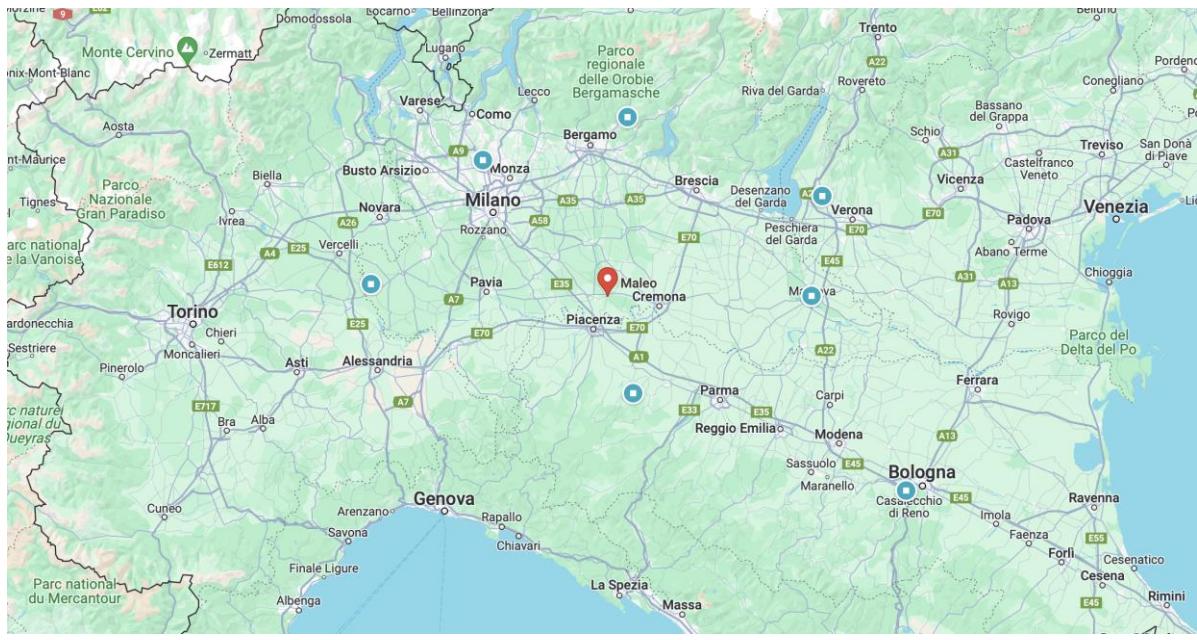
Avendo come ubicazione teorica il terreno nelle coordinate:

STABILIMENTO	X	Y
COG	5002126	559241

Le coordinate riportano a un terreno ad ovest del comune di Maleo, in provincia di Lodi, Lombardia; adiacente alla Strada Provinciale (SP27) e a Via Casa Campagna.

La vicinanza alla rete stradale extraurbano è sicuramente un vantaggio a livello economico avendo una rete di comunicazione con potenzialmente tutta a nazione.

La zona scelta è provvista anche di una rete ferroviaria e di trasporto pubblico, con una fermata a poche centinaia di metri dallo stabilimento, la quale è particolarmente utile per quanto riguarda la ricerca della manodopera.



- 📍 = Zona Impianto Ideale
- 📍 = Fornitori / Clienti

La posizione ideale potrebbe coincidere con quella effettiva, considerando la disponibilità di terreno necessaria per ospitare la nostra struttura. L'area disponibile è approssimativamente di 660.000 m², una dimensione più che adeguata al nostro progetto.

Adesso ci resta da calcolare la distanza percorribile per l'acquisto delle materie prime e dei semilavorati, così come per la vendita delle nostre Trinciatutto e Fresatrici. Queste distanze saranno calcolate utilizzando le coordinate delle nostre sedi e il numero di mezzi di trasporto richiesti per ciascuna operazione, insieme alle coordinate del Centro di Gravità (CoG), calcolate con la formula della Distanza Euclidea.

$$D = \sqrt{[(x - a_i)^2 + (y - b_j)^2]}$$

		DISTANZA			
		X	Y	Nº C	DISTANZA
FORNITORI	LAMIERE	5056012,541	510923,639	110	69163,36
	INGRANAGGI	4928831,158	679858,702	21	71470,34
	ALB TRASM	4967045,955	619262,051	14	93157,31
	ALB MART-FRESE E RASTRELLI	5073016,426	566992,412	264	38384,01
CLIENTI	Azienda Biologica Lesca	5008276,746	466602,305	797,5	80971,04
	Borghesana Azienda Vitivinicola	4965153,462	570517,464	797,5	94040,99
	Molini Rosignoli	5004594,873	640470,882	797,5	5033134,80
	Azienda Agricola Boscaini Carlo	5043689,331	643806,872	797,5	5033134,80
				SOMMA	10513456,66

10. Valutazione dell'investimento

Di seguito riportiamo i costi principali associati all'investimento nell'impianto; in particolare, la tabella seguente presenta un'analisi dei costi relativi alle decisioni prese in precedenza riguardo alle unità operatrici, alle attrezzature e alle strutture.

DESCRIZIONE	UN.	IMPORTO	QTA	IMPORTO TOTALE
Punzonatrici	€/cad	150.000,00 €	10	1.500.000,00 €
Pressopiegatrici	€/cad	60.000,00 €	11	660.000,00 €
Box di saldatura completi	€/cad	30.000,00 €	31	930.000,00 €
Linea di montaggio	€/m	6.000,00 €	123,3	739.800,00 €
Edificio industriale	€/m ²	1.000,00 €	24153	24.153.000,00 €
Impianti generali	€/m ²	410,00 €	18733	7.680.530,00 €
Scaffalature tradizionali	€/vano	100,00 €	5541	554.100,00 €
Scaffalature drive in	€/vano	80,00 €	492	39.360,00 €
Scaffalature a gravità	€/vano	400,00 €	1769	707.600,00 €
Carrelli a forche h sollev. 3m	€/cad	24.000,00 €	7	168.000,00 €
Carrelli a forche h sollev. 6m	€/cad	30.000,00 €	10	300.000,00 €
Carrelli trilaterali h soll > 10 m	€/cad	165.000,00 €	7	1.155.000,00 €
Trasportatori a rulli motorizzati (picking)	€/m	2.500,00 €	94,8	237.000,00 €
Trattorini	€/cad	15.000,00 €	2	30.000,00 €
Bracci robotici	€/cad	16.000,00 €	55	880.000,00 €
Gru	€/cad	4.800,00 €	12	57.600,00 €
Portoni	€/cad	9.700,00 €	5	48.500,00 €
Bocche di carico	€/cad	3.500,00 €	13	45.500,00 €
Porte di sicurezza	€/cad	2.800,00 €	15	42.000,00 €
			Tot.	39.927.990,00 €

11. Continuous Improvement

In questo capitolo vogliamo indicare e descrivere alcune possibilità di miglioramento futuro per il nostro stabilimento. Per meglio individuare queste opportunità, iniziamo dando un quadro generale della situazione attuale dello stabilimento in termini di indici e performance. Infine, sviluppiamo uno spaghetti chart, come strumento grafico per efficientamenti futuri.

11.1. Prestazioni Attuali Stabilimento

Di seguito, abbiamo riportato alcuni indici al fine di fornire una visione completa delle prestazioni dell'impianto, identificando aree di successo e opportunità di miglioramento.

Il primo indice che abbiamo analizzato è l’OEE, un indicatore chiave utilizzato nella gestione della produzione industriale che misura il livello di efficienza di un impianto. Monitorando disponibilità, prestazione e qualità, si possono ridurre i tempi morti, migliorare i tempi ciclo e minimizzare la produzione difettosa.

Applicando i coefficienti forniti di disponibilità, performance e qualità, abbiamo calcolato l’OEE effettivo per ogni area utilizzando la seguente formula:

$$OEE_{eff} = \frac{[T_{macchina} * (1 - Tasso\ di\ scarto)]}{(N.\ di\ macchine\ * T_{potenz})}$$

Avendo come obiettivo ideale a cui tendere un punteggio OEE del 100% che rappresenta una produzione perfetta, si considera l’85% un valore rappresentante buoni produttori. Possiamo osservare che i punteggi ottenuti si avvicinano a questa soglia. Tale risultato sottolinea l’efficacia del nostro stabilimento produttivo. Nonostante ciò, si potrebbero investire ulteriori risorse per potenziare l’area di saldatura che, per entrambe le macchine, rappresenta la zona più debole.

FRESATRICE		TRINCIATUTTO	
OPERAZIONE	OEE REPARTO	OPERAZIONE	OEE REPARTO
ASSEMBLAGGIO	89,91%	ASSEMBLAGGIO	80,68%
SALDATURA	79,92%	SALDATURA	75,93%
PRESSOPIEGATURA	80,33%	PRESSOPIEGATURA	76,33%
TRANCIATURA	82,15%	TRANCIATURA	77,89%
CELLE	82,72%	CELLE	78,59%

Calcolo OEE effettivo dell’impianto

Proseguendo con l’analisi, ci siamo focalizzati sulla *capacità di stoccaggio* e sulla *potenzialità ricettiva* del nostro impianto. Il divario tra la capacità effettiva di stoccaggio, calcolata a 5541 UDC, e la potenzialità ricettiva prevista di 5448 UDC, evidenzia un sovradimensionamento nell’impianto di stoccaggio. Questa discrepanza di 93 UDC potrebbe indicare un potenziale miglioramento nell’ottimizzazione degli spazi, con l’obiettivo di ridurre gli sprechi e massimizzare l’efficienza nell’utilizzo del magazzino. Per ridurre al minimo questo delta, potrebbero essere implementate strategie per ottimizzare la disposizione degli articoli e sfruttare a pieno lo spazio disponibile. Questo può includere l’esame delle modalità di stoccaggio o la revisione del layout degli scaffali per massimizzare l’utilizzo del volume disponibile. Riducendo al minimo le differenze tra la capacità di stoccaggio effettiva e la potenzialità ricettiva prevista, è possibile massimizzare l’efficienza operativa e minimizzare gli sprechi di spazio.

Inoltre, abbiamo analizzato il coefficiente di *sfruttamento volumetrico* dell’impianto che riflette l’ottimizzazione spaziale. In particolare, nel magazzino materie prime, il coefficiente risulta essere notevolmente basso, ovvero 7,8%. Questo suggerisce un uso inefficiente dello spazio verticale disponibile. Anche il magazzino prodotti finiti presenta un coefficiente relativamente basso, 35,38%, sebbene migliore del primo magazzino. Ciò potrebbe indicare che la progettazione dell’impianto potrebbe beneficiare di una maggiore efficienza nello sfruttamento dello spazio verticale disponibile, garantendo così un uso ottimale delle risorse.

Infine, analizzando l’*indice di saturazione* dei carrelli, si può notare come i carrelli utilizzati non raggiungano una saturazione completa al 100%. Questa discrepanza è al momento necessaria, poiché garantisce che i carrelli riescano a compiere movimenti che abbiamo tralasciato (come gli spostamenti effettivi tra le diverse tratte, il ritorno alla stazione di ricarica e altri movimenti tipici dell’operatività reale). Infatti, la nostra valutazione è approssimativa ed è basata sulle distanze fra i baricentri del layout a blocchi. Tuttavia, per un miglioramento futuro delle prestazioni dello stabilimento, potrebbe essere utile adottare un calcolo più preciso al fine di fornire una valutazione di saturazione più elevata e ottimizzata.

11.2. Lean Manufacturing e Proposte di Miglioramento

Il seguente capitolo analizza i principi della Lean Manufacturing per ottimizzare lo stabilimento e migliorare l'efficienza produttiva. Questo approccio si basa sulla riduzione degli sprechi e sull'ottimizzazione delle operazioni. Di seguito, abbiamo discusso diverse proposte di miglioramento.

Il primo miglioramento proposto consiste nella sostituzione delle scaffalature tradizionali nel magazzino delle materie prime con scaffalature cantilever al fine di ottimizzare lo spazio. Questa soluzione è particolarmente vantaggiosa per materiali lunghi e stretti, come le lamiere, permettendo di stoccare una maggiore quantità di materiale nello stesso spazio rispetto alle scaffalature tradizionali. Inoltre, si potrebbero aumentare, dove possibile, i livelli delle scaffalature nel magazzino tenendo conto del peso dei materiali e dell'ingombro.

Un altro punto nel nostro progetto dove poter intervenire riducendo gli sprechi potrebbe essere ricalcolare il numero di carrelli necessari utilizzando le distanze reali invece che quelle stimate grazie alla distanza fra baricentri del layout a blocchi. Questo eviterebbe una stima approssimativa, evitando di avere carrelli e personale non necessari.

Un'altra proposta riguarda l'introduzione della tecnologia RFID (Radio Frequency Identification) che ottimizzando la tracciabilità della produzione, è in grado di migliorare la gestione delle scorte e di garantire una visibilità del processo in tempo reale, il tutto per massimizzare l'efficienza operativa e garantire la qualità del prodotto. L'utilizzo di questi tag RFID nel nostro stabilimento contribuirebbe a un miglioramento dell'efficienza logistica, consentendo il monitoraggio accurato del movimento dei componenti durante l'intero ciclo produttivo. Questo ridurrà errori legati alla gestione delle scorte e assicurerà un controllo più accurato scoraggiando furti e garantendo il corretto utilizzo dei componenti. Ancora, i tag possono fornire i dati in tempo reale sulla posizione e sullo stato di tutti i componenti delle macchine agricole, ciò permetterebbe di identificare e risolvere i problemi più rapidamente, come nel caso di un prodotto danneggiato o perso. Inoltre, grazie a questa tecnologia, i dati raccolti verrebbero trasmessi automaticamente ad un database centrale, evitando la necessità dell'immissione manuale dei dati, risparmiando tempo, migliorando l'accuratezza e consentendo di avere sempre la produzione sotto controllo.

Anche l'utilizzo di un software gestionale a livello di stabilimento comporterebbe un miglioramento in un'ottica Lean aiutando a ridurre gli sprechi e migliorando l'efficienza e la produttività dello stabilimento. Ad esempio, un software gestionale potrebbe fornire in modo più accurato i dati in tempo reale sui processi produttivi, consentendo agli operatori di prendere decisioni più informate. Ancora, potrebbe automatizzare le attività ripetitive o semplicemente migliorare la comunicazione fra le diverse aree dell'azienda, facilitando la collaborazione e la risoluzione dei problemi. Inoltre, grazie a software gestionali si potrebbe riprogrammare l'arrivo delle merci, ottenendo una calendarizzazione più ottimizzata, rispetto alla nostra calcolata manualmente, e riuscendo a proporre soluzioni più efficienti nella gestione dell'arrivo dei materiali.

Inoltre, l'adozione dei principi delle 5S potrebbe potenziare l'efficienza e la produttività dello stabilimento, eliminando il disordine e gli sprechi attraverso una pulizia e un mantenimento dell'ordine più accurati. A tale scopo, si consiglia di introdurre una pulizia programmata per postazione e un'ispezione generale dell'impianto al termine di ogni giorno.

Un ulteriore miglioramento potrebbe essere rappresentato da una formazione differenziata del personale in base alle attività svolte, utilizzando i principi del visual management. Questo approccio contribuirebbe ad un aumento e ad una omologazione delle competenze del personale che potranno prevenire le non-conformità riducendo gli scarti e migliorando complessivamente la qualità del lavoro.

Invece, per quanto riguarda l'analisi del processo produttivo, è evidente come la zona di saldatura produca più scarti. Per ridurre questo valore, si potrebbe pensare ad un potenziamento della specializzazione della manodopera interessata e all'introduzione di un sistema di manutenzione preventiva alle macchine.

Infine, per ottimizzare l'efficacia dello stabilimento, è consigliabile valutare una riprogrammazione del flusso produttivo che miri a dedicare quanto più possibile le macchine a specifiche tipologie di prodotti, come è stato fatto per l'assemblaggio. Questa strategia contribuirebbe alla riduzione dei tempi di setup, dei tempi complessivi e dello spazio utilizzato, con conseguente miglioramento del lead time. Nel caso di modifiche al numero di macchine, si dovrebbe valutare la necessità di apportare eventuali modifiche al layout dell'impianto, mirando a ridurre le distanze e, di conseguenza, a minimizzare i trasporti e i tempi d'attesa.

11.3. Spaghetti Chart

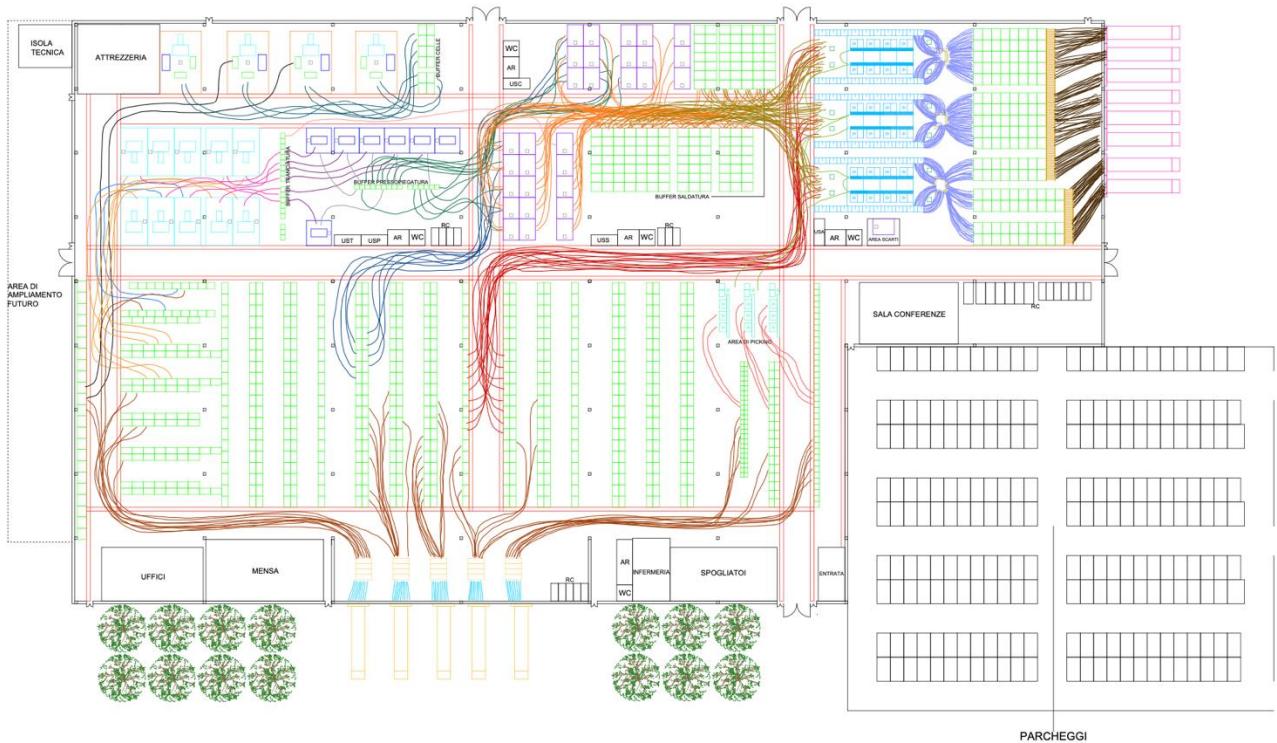
Per la costruzione dello spaghetti chart, abbiamo inizialmente considerato tutti i movimenti interni dal magazzino materie prime fino alle banchine di spedizione. Il numero di "spaghetti" è stato determinato in base oraria, determinando un numero medio di UDC spostate tra una zona e l'altra (arrotondato per eccesso). Le zone considerate sono bene o male le stesse considerate in precedenza per il dimensionamento dinamico. Per rappresentare il più fedelmente possibile la realtà, le linee di collegamento hanno punti di partenza e arrivo progressivamente più lontani dai baricentri delle varie aree. Inoltre, avendo a disposizione un layout dettagliato, per le postazioni produttive abbiamo cercato di distribuire il più equamente possibile i collegamenti tra le varie postazioni, così come per i vani di scaffalatura nelle zone di stoccaggio.

COMPONENTE	MEDIA GIORNO [UDC]	MEDIA ORA [UDC] = NUMERO "SPAGHETTI"	PARTENZA	ARRIVO	MEZZO	COLORE
LAMIERA 1500x2000	23	2	MP Zona 1	Celle	Carrello 6 m	
LAMIERA 1000x1500	21	2	MP Zona 2	Traciatura	Carrello 6 m	
LAMIERA 1000x2000	85	6	MP Zona 3	Traciatura	Carrello 6 m	
RASTRELLI	107	8	MP Zona 4	Saldatura	Carrello 6 m	
ALBERO CON FRESE	113	8	MP Zona 4	Assemblaggio	Carrello 6 m	
ALBERO CON MARTELLI	107	8	MP Zona 4	Assemblaggio	Carrello 6 m	
RUOTE E ALBERI TRASM	119	8	MP Zona 5	Picking	Carrello 6 m	
PARTI TRANCiate	92	7	Traciatura	Buffer TRNC	Carrello 3 m	
PARTI TRANCiate	78	6	Buffer TRNC	Pressopiegatura	Carrello 3 m	
PARTI PRESSOPIEGATE	76	6	Pressopiegatura	Buffer PSP	Carrello 3 m	
CARTER	109	8	Celle	Buffer PSP	Carrello 3 m	
PARTI PRESSOPIEGATE	185	13	Buffer PSP	Saldatura	Carrello 3 m	
PIASTRE LATERALI	14	1	Buffer TRNC	Saldatura	Carrello 3 m	
TELAI	658	44	Saldatura	Buffer SLD	Carrello 6 m	
TELAI	658	44	Buffer SLD	Assemblaggio	Carrello 6 m	
PRODOTTI FINITI	2635	176	Assemblaggio	Magazzino PF	Carrello 10 m	
PRODOTTI FINITI	2635	176	Magazzino PF	Banchine Spedizione	Carrello 3 m	

Tabella con dati utilizzati per disegno Spaghetti Chart

Per quanto riguarda gli spostamenti dall'area di picking alle linee d'assemblaggio, su base oraria si muovono mediamente 2 trattorini. Ciascuno di questi rifornisce 3 linee a viaggio: abbiamo quindi tracciato "spaghetti" che evidenziano questi saltelli tra una linea d'assemblaggio e l'altra.

Gli ultimi movimenti che abbiamo dovuto segnalare sono quelli dalle banchine di ricevimento al magazzino materie prime. Per riuscire a descrivere tutti i percorsi nonostante gli arrivi delle merci siano calendarizzati e diversi giorno per giorno, abbiamo deciso di calcolare una media mensile di arrivi per tutti gli articoli e da questa calcolarne una oraria come se gli arrivi fossero costanti ed equamente distribuiti durante le 15 ore di lavoro.



12. Conclusion

L'esecuzione dello studio dell'impianto logistico-produttivo di cui sopra, ci ha permesso di acquisire competenze tecniche a riguardo e nozioni di base per la progettazione di edifici industriali su AutoCad. Abbiamo infine compreso l'importanza della collaborazione nell'ottica di raggiungere in modo efficiente ed efficace il risultato desiderato.