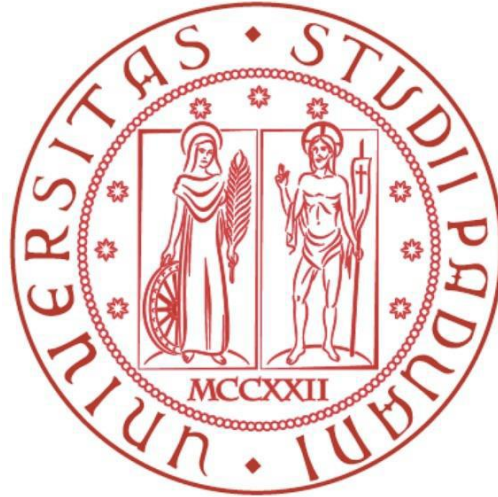


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Triennale in Ingegneria dell'Innovazione del Prodotto



Dimensionamento e ottimizzazione del layout di un'azienda produttrice di quadri elettrici attraverso la simulazione ad eventi discreti: un caso applicativo

Relatore: Prof.ssa Ilenia Zennaro

Correlatore: Prof. Nicola Berti

Laureandi: Samantha Ingrà

Elena Priante

Filippo Sartori

Filippo Viero

Anno Accademico 2024-2025

Sommario

| | |
|---|-----------|
| Capitolo 1- Introduzione | 6 |
| 1.1 Classificazione delle tipologie di produzione | 6 |
| 1.1.1 Classificazione secondo la modalità di realizzazione del prodotto finito:..... | 6 |
| 1.1.2 Classificazione secondo la modalità di realizzazione del volume | 7 |
| 1.1.3 Classificazione secondo la modalità di risposta al mercato | 7 |
| 1.2 Diagramma P-Q | 8 |
| 1.2.1 Zona 1 – Layout per prodotto o produzione in linea | 9 |
| 1.2.2 Zona 2 – Layout per processo/produzione per reparti | 11 |
| 1.2.3 Zona 3 – Layout misto/per celle produttive..... | 12 |
| 1.2.4 Zona 4 – Layout a postazione fissa o produzione su commessa | 14 |
| 1.3 Studio del layout | 15 |
| 1.3.1 Disposizione delle macchine..... | 16 |
| 1.3.2 Analisi del flusso dei materiali..... | 16 |
| 1.3.3 Studio delle attività di servizio..... | 17 |
| 1.3.4 Diagramma di flusso e/o rapporto tra attività | 17 |
| 1.3.5 Determinazione dello spazio richiesto | 17 |
| 1.3.6 Determinazione diagramma dei rapporti tra gli spazi..... | 18 |
| 1.3.7 Stesura di un primo layout | 18 |
| 1.3.8 Riordinamento del diagramma rapporti e del layout..... | 18 |
| 1.3.9 Ottimizzazioni con gli algoritmi..... | 18 |
| Capitolo 2- Dimensionamento dell'impianto | 21 |
| 2.1 Obiettivi..... | 21 |
| 2.2 Cicli tecnologici e coefficienti di dimensionamento | 21 |
| 2.3 Potenzialità dei reparti..... | 24 |
| 2.4 Numero di macchinari e coefficienti di utilizzo | 26 |
| 2.6 Numero di Operatori | 29 |
| Capitolo 3 – Ottimizzazione del Layout | 31 |
| 3.1 Considerazioni generali | 31 |
| 3.1.1 From-To Chart..... | 31 |
| 3.1.2 Costo unitario di movimentazione interna..... | 32 |
| 3.2 Prima proposta di layout | 32 |
| 3.2.1 Applicazione metodo CRAFT..... | 34 |
| 3.3 Seconda proposta di layout | 37 |
| 3.3.1 Applicazione metodo CRAFT..... | 39 |
| 3.4 Discussione | 42 |
| Capitolo 4– Simulazione del layout tramite software di simulazione Flexsim | 43 |
| 4.1 Introduzione | 43 |
| 4.2 Fixed Resources | 43 |
| 4.2.1 Blocco Source..... | 43 |
| 4.2.2 Blocco Processor..... | 44 |
| 4.2.3 Blocco Combiner..... | 44 |
| 4.2.4 Blocco Sink..... | 44 |
| 4.3 Task Executer | 45 |
| 4.3.1 Operator..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 Travel Networks..... | 45 |
| 4.4.1 NetworkNode..... | 45 |
| 4.5 Warehousing | 45 |
| 4.5.1 Rack..... | 45 |
| 4.6 Set Up | 46 |
| 4.6.1 Impostazioni source..... | 46 |
| 4.6.2 Impostazioni Processor..... | 47 |
| 4.6.3 Impostazioni Rack..... | 49 |
| 4.6.4 Impostazioni attesa..... | 50 |
| 4.6.5 Impostazioni operatori..... | 50 |
| 4.6.6 Impostazioni Combiner..... | 51 |
| 4.7 Risultati primo layout | 52 |
| 4.8 Risultati secondo layout | 55 |
| 4.9 Confronto risultati | 58 |
| Capitolo 5- Conclusioni..... | 61 |

Abstract

L'elaborato propone il dimensionamento dei reparti e l'ottimizzazione del layout di un'azienda produttrice di quadri elettrici mediante simulazione ad eventi discreti.

Il caso studio prende in analisi una produzione organizzata per reparti con operatori dedicati, caratteristica di aziende con elevata varietà di prodotti e cicli di lavorazione.

Le macchine operatrici, di tipo universale, consentono la lavorazione di diversi prodotti.

L'obiettivo principale è illustrare una procedura per il dimensionamento del layout aziendale, ottimizzando i costi operativi attraverso l'analisi simulativa condotta con il software 3D FlexSim.

Capitolo 1- Introduzione

Un impianto industriale è l'insieme di macchine, attrezzature e servizi che hanno l'obiettivo di trasformare materie prime e semilavorati in prodotti finiti.

Si possono distinguere i prodotti in:

- *Beni di Consumo*, costituiti da tutti quei prodotti aventi un solo ciclo di vita, tipicamente presenti nell'industria di processo, come ad esempio nell'industria alimentare.
- *Beni Strumentali*, costituiti da tutti quei prodotti aventi più cicli di utilizzo, tipicamente presenti nell'industria manifatturiera, come ad esempio nell'industria automobilistica.

Il corretto funzionamento di un impianto industriale dipende dalla sinergia tra gli *impianti tecnologici* e gli *impianti di servizio*.

I primi sono gli impianti che effettuano il ciclo tecnologico, comprendono macchinari e attrezzature specifiche a diretto contatto con le materie prime che partecipano attivamente alla produzione e dunque variano in funzione della tipologia di prodotto finito che l'azienda realizza.

Gli impianti di servizio sono un supporto all'impianto tecnologico a cui sono legati, consentendone il corretto funzionamento, e pertanto, non sono strettamente correlati al prodotto finito ma piuttosto svolgono una funzione generica e di supporto alle attrezzature che lavorano il prodotto.

1.1 Classificazione delle tipologie di produzione

È possibile suddividere le *tipologie di produzione* esistenti in base a:

- Alla modalità di realizzazione del prodotto finito
- Alla modalità di realizzazione del volume
- Alla modalità di risposta al mercato

1.1.1 Classificazione secondo la modalità di realizzazione del prodotto finito:

- Produzione per *processo*, ovvero attraverso un flusso continuo di lavorazioni;
- Produzione *per parti*, che prevede l'assemblaggio di parti distinte che portano al completamento del prodotto finito.

1.1.2 Classificazione secondo la modalità di realizzazione del volume

I parametri di riferimento sono la ripetitività delle operazioni e la continuità del flusso di input e output nei reparti.

- *Produzione continua*, la quale comporta la realizzazione di una sola varietà di prodotti;
- *Produzione intermittente a lotti*, che permette la realizzazione di più varietà di prodotti, ma comporta il sostenimento di costi dovuti al fermo macchina previsto durante i set-up o gli attrezzaggi dei macchinari, necessari ogniqualvolta venga modificata la varietà di prodotti;
- *Produzione unica*, che assume le caratteristiche di una produzione su commessa.

1.1.3 Classificazione secondo la modalità di risposta al mercato

- *Make to stock (MTS)*, l'azienda che adotta questa politica produce un certo volume dopo aver ipotizzato una domanda di mercato, mantenendo fermi in magazzino i prodotti finiti, fino a quando non riceve l'ordine del cliente.

Il rischio maggiore per un'impresa che produce secondo MTS è costituito dalla sovrapproduzione, che consiste in una produzione maggiore della quantità di prodotti che effettivamente viene venduta.

L'impresa può tutelarsi attraverso un accordo di assorbimento merce con il cliente.

- *Assembly to order (ATO)*, l'azienda che adotta questa politica produce un certo volume di semilavorati a seguito di un'adeguata ipotesi della domanda di mercato, e riceve l'ordine del cliente nella fase che intercorre tra produzione e stock, per andare successivamente a personalizzare il prodotto finito secondo le esigenze del cliente.

Questa modalità di risposta al mercato è tipica delle aziende automobilistiche, in cui il cliente ha la possibilità di scegliere gli optional per la propria automobile.

- *Make to order (MTO)*, l'azienda che adotta questa politica produce su commessa, preferendo una produzione personalizzata ed orientata al cliente, con step spesso articolati. A differenza della produzione in serie, nella produzione su commessa, l'azienda produce solo su specifica richiesta del committente, per ottenere un prodotto su misura del cliente.

Le aziende che lavorano con questo tipo di produzione si contraddistinguono per la gestione simultanea di diverse commesse.

Il rischio maggiore per una impresa che produce secondo MTO è costituito dal *rischio di esercizio*, che deriva da fattori interni all'azienda, come ad esempio inefficienze operative, problemi di gestione delle risorse, errori di produzione o malfunzionamenti dei sistemi, e che può andare a influenzare negativamente la redditività, la liquidità e la sostenibilità a lungo termine dell'azienda.

- *Engineering to order (ETO)*, l'azienda che adotta questa politica si avvicina al MTO, ma con una differenza fondamentale: la strategia ETO implica che la domanda del cliente arrivi all'azienda prima della fase di progettazione.

Nuovamente, il rischio principale dell'impresa che adotta questa politica è il rischio di esercizio, dal quale può tutelarsi con la definizione di alcune clausole all'interno del contratto stipulato con il cliente.

1.2 Diagramma P-Q

Il diagramma P-Q è uno strumento volto alla classificazione degli impianti produttivi in base ai volumi e alle varietà di prodotti.

In Figura 1.1 viene riportata in ascissa l'intera gamma di prodotti P e in ordinata i corrispettivi volumi produttivi Q. Ponendo in ordine decrescente i prodotti secondo la variabile della quantità produttiva Q realizzata, si può evidenziare quali prodotti hanno la possibilità di essere realizzati in linee e celle dedicate, e quali invece devono essere realizzati per reparti, a causa del loro basso volume produttivo che non permette una soddisfacente saturazione dell'utilizzo dei macchinari.

Si può definire il coefficiente di utilizzo dei macchinari, che serve per verificare l'efficienza del layout conseguente a questa classificazione, con la seguente formula:

$$U = \frac{\text{tempo di effettivo utilizzo}}{\text{tempo disponibile}}$$

In funzione della tipologia di layout scelto si avrà un valore minimo accettabile di U sotto il quale il sistema produttivo non risulta essere conveniente in termini di costi ed efficienza per assicurare la quantità produttiva prefissata.

Nello studio del layout è importante conoscere la tipologia di produzione, in quanto consente di scegliere il metodo di dimensionamento più appropriato per ricavare informazioni, come il numero dei macchinari, il numero e ruolo degli operatori, ecc.

Diagramma P-Q

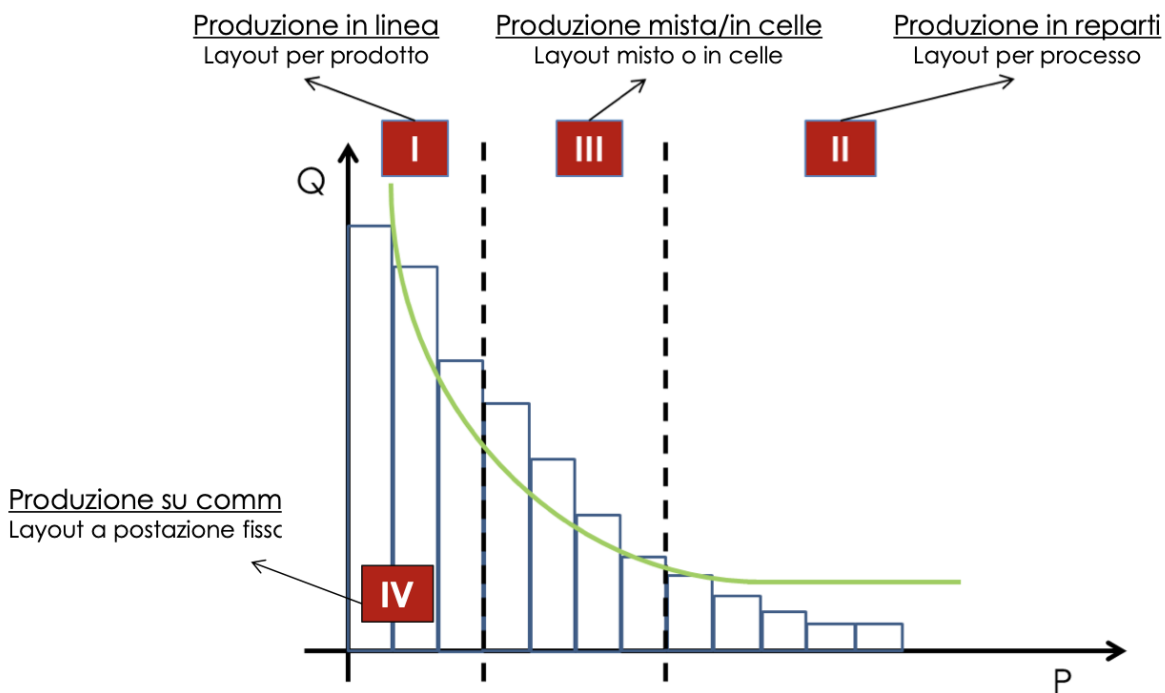


Figura 1.1: Diagramma PQ

Dal diagramma si possono identificare quattro zone:

- 1.2.1 Zona I: varietà di prodotti molto bassa e volumi di produzione elevati
- 1.2.2 Zona II: varietà di prodotti elevata e volumi di produzione bassi
- 1.2.3 Zona III: varietà di prodotti e volumi di produzione intermedi
- 1.2.4 Zona IV: volumi unitari e varietà estremamente basse

1.2.1 Zona 1 – Layout per prodotto o produzione in linea

Nella produzione in linea si considera di realizzare elevate quantità per una bassa varietà di prodotti (spesso monoprodotto). Il relativo layout è trasparente, cioè la disposizione delle singole macchine rispecchia la successione delle operazioni del ciclo tecnologico del prodotto. I prodotti in corso di lavorazione che escono da un macchinario entrano completamente in quello successivo, fatta eccezione per gli scarti produttivi. I macchinari sono altamente specializzati per il prodotto da lavorare, riducendo dunque la manodopera al minimo con perlopiù compiti di supervisione e piccole manutenzioni. Le movimentazioni dei prodotti vengono ridotte, in quanto i percorsi dei materiali seguono una direzione lineare e

unidirezionale. Ne deriva che i trasporti siano ad elevata automazione e molto spesso di tipo rigido (ad esempio: nastri trasportatori, rulli, sistemi di trasporto a catena). I prodotti si muovono velocemente in linee dedicate, realizzando una rapida produzione.

Questa tipologia di layout è caratterizzata da un alto coefficiente di utilizzo (sopra l'80%) ed un basso Work in Progress (WIP), ossia l'inventario dei componenti o prodotti in fase di attesa di lavorazione. I semilavorati, quindi, rimangono in attesa per un tempo limitato prima di essere utilizzati per la lavorazione successiva.

Nella produzione in linea la flessibilità è molto bassa e la produttività della linea viene definita dalla stazione di lavoro più lenta: bisogna prestare attenzione a non sovraccaricare i colli di bottiglia, ossia le stazioni che si saturano per prime. Qualsiasi guasto o fermo provoca il blocco dell'intera linea. Anche i set up macchina vengono progettati per essere più veloci possibile, al fine di poter ridurre al minimo i costi opportunità generati dalla mancata produzione di prodotti durante il fermo impianto.

In questa tipologia di impianti gli investimenti risultano elevati principalmente per macchinari e strumenti di movimentazione automatizzati. Il limitato coinvolgimento degli operatori nella produzione attiva può determinare una ridotta motivazione e un senso di frustrazione, derivanti dalla mancanza di stimoli e responsabilità. Per affrontare questa problematica, nelle aziende che adottano processi produttivi in linea si ricorre frequentemente a strategie come la *job rotation*, che prevede l'alternanza degli operatori tra diverse mansioni, o il *job enrichment*, che consiste nell'assegnazione di ulteriori responsabilità e compiti, al fine di incrementare il livello di coinvolgimento e soddisfazione del personale.



Figura 1.2: Linea di Imbottigliamento Cantina 4.0

1.2.2 Zona 2 – Layout per processo/produzione per reparti

La produzione per reparti è caratterizzata da piccoli volumi di produzione con molte varietà; i prodotti si muovono lentamente da un reparto all'altro. Il layout non è trasparente, a differenza della produzione in linea, nei reparti non c'è un unico ciclo per tutti i prodotti finiti, che invece possono passare da un reparto ad un altro in base al proprio ciclo tecnologico.

I percorsi dei materiali sono incrociati e, per questioni logistiche, i reparti non sono sempre adiacenti tra loro. Si creano pertanto dei flussi di materiale tra reparti che implicano l'adozione di movimentazioni dei lotti di produzione manuali o con l'utilizzo di carrelli elevatori o transpallet. Questo fenomeno porta ad avere spazi ampi con basso sfruttamento superficiale.

Le operazioni di trasformazione e di trattamento vengono eseguite in reparti caratterizzati da lavorazioni omogenee, i macchinari sono generici, in grado quindi di produrre molti prodotti differenti, i tempi di set up sono spesso lunghi per attrezzare in modo adeguato il macchinario ad ogni prodotto da processare.

La manodopera è altamente preparata e specializzata, in quanto ogni operatore deve conoscere ogni prodotto e deve svolgere più attività differenti.

Il WIP nei reparti risulta molto elevato in quanto è presente un'alta varietà di prodotti in corso di lavorazione con attese, spesso causate dagli attrezzaggi differenti, e interferenze tra loro.

Il coefficiente di utilizzo è basso (40%-50%), i macchinari vengono utilizzati per la produzione di prodotti differenti quindi ci sarà un'elevata incidenza dei tempi di set up.

Questa tipologia di produzione è adatta ad aziende che realizzano bassi volumi produttivi per una grande varietà di prodotti.

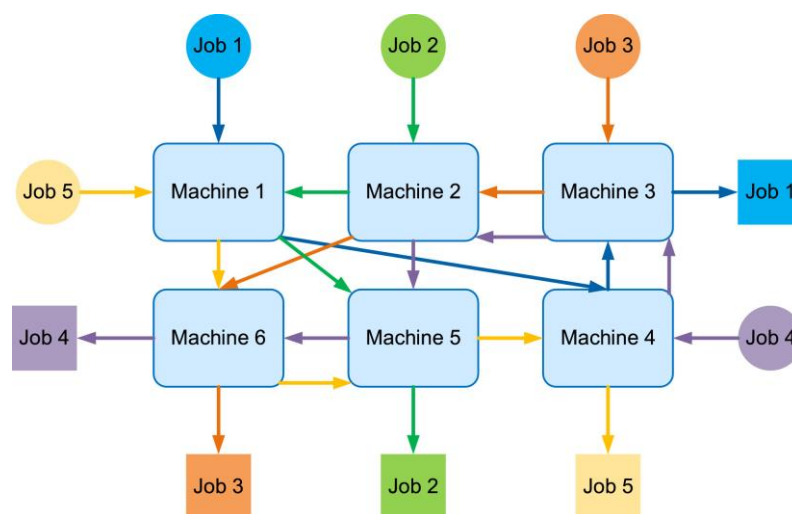


Figura 1.3: Produzione per reparti

1.2.3 Zona 3 – Layout misto/per celle produttive

Questa tipologia di layout prevede la creazione di celle produttive in grado di processare una o più famiglie di prodotti simili, o dalla coesistenza di reparti e linee produttive. La produzione è strutturata per famiglie, le quali sono un insieme di prodotti accomunati da caratteristiche progettuali e processi produttivi simili. Con opportune correzioni ed analisi delle famiglie di prodotti raggruppate nella scelta produttiva è possibile avvicinarsi ai valori di utilizzo tipici della Zona 1. Per fare questo, si possono sfruttare i principi della Group Technology, che sono delle tecniche che mirano a combinare i vantaggi della flessibilità della Zona 2 con l'elevata produttività della Zona 1, attraverso l'aggregazione dei prodotti in famiglie omogenee.

Tale processo è ottenibile tramite tre steps:

1. *Razionalizzazione del prodotto*: si procede all'analisi dei disegni tecnici di tutti i prodotti al fine di individuare le similitudini tra di essi, poiché caratteristiche comuni implicano processi produttivi analoghi.
2. *Razionalizzazione del ciclo tecnologico*: si identificano processi e fasi di lavorazione con caratteristiche affini.
3. *Razionalizzazione del layout*: il layout delle macchine viene progettato in funzione delle similitudini identificate.

La cella produttiva rappresenta un'unità di lavoro ben definita, progettata ed organizzata attorno ad un singolo prodotto o ad una famiglia di prodotti simili. La sua progettazione richiede una conoscenza approfondita dei parametri di processo, quali il numero di macchine, le configurazioni da implementare, i sistemi di movimentazione ed il numero di operatori necessari. Una volta determinato il numero di macchine disponibili, la loro disposizione all'interno della cella viene ottimizzata utilizzando il metodo di Hollier. Questo approccio si basa sul calcolo del rapporto tra i pezzi in uscita e quelli in entrata per ciascuna macchina, derivanti dalla From-To Chart. Le macchine vengono posizionate in ordine decrescente rispetto a tale rapporto o secondo criteri alternativi, come la priorità per macchinari con maggior capitale investito o l'ottimizzazione del completamento del processo. Stabilita la disposizione delle macchine, si procede al calcolo del numero di operatori necessari ed al loro posizionamento, tenendo sempre in considerazione il limite di saturazione operativa. Il layout della cella può essere configurato in diverse modalità, tra cui una disposizione lineare frontale, con le macchine allineate di fronte agli operatori; una disposizione ad "U", con gli operatori circondati dai macchinari; o una configurazione rettilinea, con due file parallele di macchine e gli operatori collocati al centro. La produzione organizzata in celle, in particolare con

configurazione ad “U”, offre numerosi vantaggi, come ad esempio un flusso produttivo continuo, che riduce il WIP, una maggiore facilità nella regolazione del *takt time* e una riduzione dei tempi critici di produzione. Inoltre, rispetto alla produzione per reparti, lo spazio occupato risulta inferiore grazie all’automazione e all’integrazione dei sistemi di movimentazione con i macchinari. Questo tipo di organizzazione consente anche un maggiore controllo del processo produttivo.

Infine, il coefficiente di utilizzo dei macchinari, in media, si attesta tra il 60% e il 70%, un valore intermedio tra le zone operative 1 e 2.



Figura 1.4: Layout a celle

1.2.4 Zona 4 – Layout a postazione fissa o produzione su commessa

La produzione a postazione fissa è caratterizzata da un mix produttivo molto basso, anche se la varietà di tipologie di prodotti finali è molto elevata grazie alla personalizzazione estrema che il cliente può esprimere nella fase di progettazione di prodotto. I prodotti in Zona IV sono realizzati in quantità bassissime, talvolta unitarie. Questo tipo di produzione è tipico di aziende che trattano commesse customizzate e solitamente prodotti di grandi dimensioni. A differenza della produzione in linea, la produzione a postazione fissa converge tutte le lavorazioni nella fase finale di fabbricazione del prodotto. Il layout è organizzato in tante postazioni di lavoro disposte attorno alla zona di assemblaggio del prodotto finale, inoltre deve essere estremamente flessibile per adattarsi a prodotti differenti. Gli operatori sono altamente specializzati e flessibili, in grado di svolgere diverse attività.

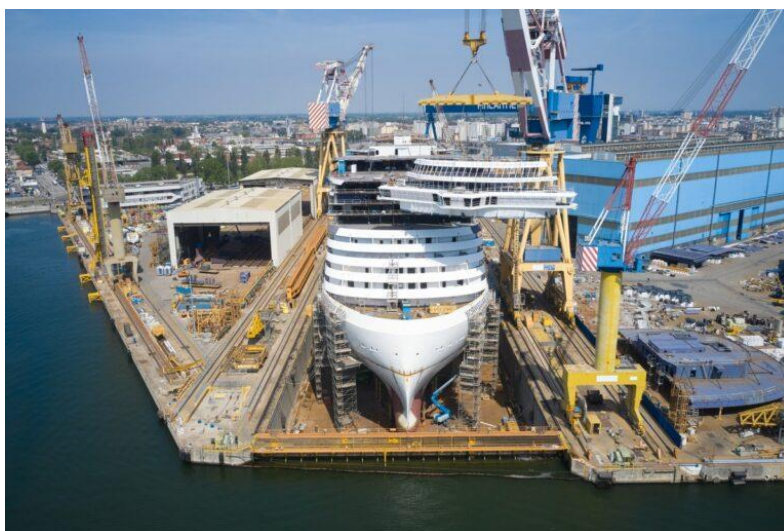


Figura 1.5: Produzione a postazione fissa

1.3 Studio del layout

Il layout è la visualizzazione della disposizione dei reparti, dei macchinari e dei servizi in un'area adibita ad impianto industriale.

Questa rappresentazione grafica garantisce che le materie prime entrino nello stabilimento e si muovano fluidamente tra le varie fasi di lavorazione, fino alla spedizione del prodotto finito, seguendo un flusso che evita incroci inutili e congestioni.

Lo studio del layout rappresenta uno strumento di notevole efficacia, essenziale per il dimensionamento di un nuovo impianto industriale o l'ampliamento dello stesso, o ancora per sostituire l'impianto a causa di obsolescenza dei macchinari, o qualora si volesse aumentare il volume produttivo o introdurre un nuovo prodotto.

Le finalità dell'analisi del layout sono volte a:

- *Ottimizzare lo spazio a disposizione*, consentendo di collocare tutte le attrezzature necessarie e di creare aree di lavoro sufficientemente ampie per operare in sicurezza e comfort. Questo è fondamentale in stabilimenti dove lo spazio è limitato e ogni metro quadrato deve essere sfruttato al massimo per garantire la massima produttività.
- *Ridurre i tempi di spostamento di materiali e persone* assicurando, inoltre, che i percorsi siano diretti e privi di ostacoli, facilitando così una rapida movimentazione delle persone e dei materiali necessari alla produzione.
- *Posizionamento dei reparti*: la logica di posizionamento dei reparti deve riflettere le relazioni funzionali tra le diverse aree.
- *Riduzione dei costi*: Un layout dell'impianto industriale ben progettato non solo ottimizza l'utilizzo dello spazio e dei percorsi, ma può anche condurre a una maggiore efficienza nell'uso delle apparecchiature.

Il layout di un impianto deve essere studiato su diversi livelli, partendo da una prima analisi macroscopica, fino ad arrivare allo studio sub-microscopico. I livelli si articolano nel modo seguente:

- *Globale*: si studia l'ubicazione dell'impianto da un punto di vista geografico, selezionando una zona strategica in funzione dei prodotti o dei trasporti dell'impresa.
- *Superiore*: si passa allo studio del terreno e della tipologia di edificio che ospiterà gli impianti tecnologici e di servizio dell'impresa.
- *Macroscopico*: si procede analizzando la migliore organizzazione e disposizione dei reparti nell'edificio; questo è il livello di studio del layout sul quale si sofferma il caso studio trattato in questa tesi.

- *Microscopico*: si studia l'esatta posizione di ogni risorsa all'interno dei reparti precedentemente definiti.
- *Sub-microscopico*: si analizza infine l'impostazione più efficiente degli utensili su una macchina, organizzando le stazioni di lavoro.

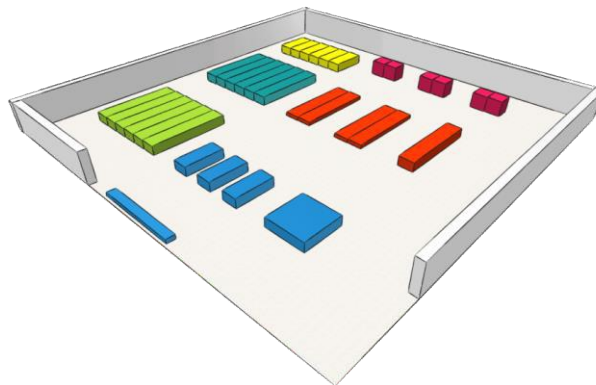


Figura 1.6: Esempio studio layout livello Macroscopico

La procedura per lo studio del layout si articola in otto fasi:

1.3.1 *Disposizione delle macchine*

Si analizza l'organizzazione del sistema produttivo, identificando se il processo avviene in linea, per reparti o con una configurazione mista. Successivamente, si determina la disposizione dei macchinari all'interno dell'impianto e si valutano le esigenze di spazio richieste dalle apparecchiature. In base alla collocazione nel diagramma P-Q, si definisce la tipologia di layout ottimale.

1.3.2 *Analisi del flusso dei materiali*

Si procede ora con l'analisi iniziando dallo studio del flusso dei materiali. Il tipo di verifica da effettuare varia in funzione del prodotto, del ciclo produttivo e della potenzialità produttiva, tenendo conto delle zone individuate tramite il diagramma P-Q. Si utilizzano strumenti di analisi dei flussi di materiale diversi a seconda della zona in cui ci si trova:

- Produzione in linea: per pochi prodotti realizzati in grandi quantità, si utilizza il *foglio di processo operativo monoprodotta*;

- ii. Produzione in linea con varietà crescente: rimanendo sempre nella zona 1, si vanno a rappresentare diversi prodotti in uno stesso foglio di processo operativo multiprodotto;
- iii. Produzione per reparti: in presenza di un'elevata varietà realizzata in piccole quantità si va ad utilizzare la From-To Chart, che rappresenta i flussi complessivi tra i reparti;
- iv. Produzione in celle: nella zona intermedia del diagramma, lo strumento che viene utilizzato dipende dalle caratteristiche della famiglia studiata. In questa zona si ha l'applicazione della *Group Technology*.

1.3.3 Studio delle attività di servizio

All'interno dell'impianto, oltre alla movimentazione dei materiali, si può avere scambio di informazioni, documenti, persone. Per studiare questi tipi di flussi si usa la tabella dei rapporti di vicinanza (Relationship Chart).

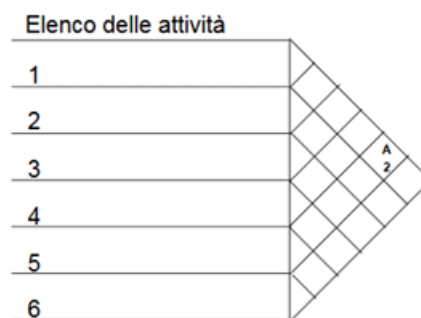


Figura 1.7: Relationship Chart

1.3.4 Diagramma di flusso e/o rapporto tra attività

Partendo dalla From-To Chart e dalla Relationship Chart si può ottenere una REL-Chart combinata. Quest'ultima viene poi tradotta nel diagramma dei rapporti tra le attività, ovvero la traduzione della REL-Chart in una rappresentazione grafica. Le informazioni e le relazioni, prima identificate con un giudizio, vengono tradotte con dei collegamenti standardizzati.

1.3.5 Determinazione dello spazio richiesto

Una volta ottenuto il diagramma, si può associare ad ogni simbolo lo spazio necessario ad ogni singola attività rappresentata. Per creare una disposizione delle diverse aree ci sono vari metodi possibili:

- Metodo dei calcoli diretti

- Metodo delle conversioni
- Metodo degli spazi standard
- Metodo del layout schematico

1.3.6 Determinazione diagramma dei rapporti tra gli spazi

Note le relazioni tra le attività e lo spazio necessario, è possibile tradurre il grafico trovato nel punto quattro nel diagramma dei rapporti tra gli spazi. Si può assegnare a ciò che era rappresentato con un simbolo ASME un'area; in questo modo si ottiene una stima dell'area totale necessaria all'impianto.

1.3.7 Stesura di un primo layout

Si procede ora, avendo tutte le informazioni necessarie, ad una prima stesura di layout, cercando di dare priorità alle zone con le relazioni più importanti e cercando di allontanare le aree con gradi di vicinanza relativi. Una volta ottenuta una prima proposta di layout si valuta la bontà di questa soluzione.

1.3.8 Riordinamento del diagramma rapporti e del layout

Può esserci la necessità di andare a riconfigurare la prima proposta, proponendo diverse alternative che verranno poi valutate. Al fine di effettuare un riordinamento del diagramma dei rapporti fra gli spazi e, quindi, del layout stesso, bisogna tenere conto di:

- Considerazioni di modifica dovute ad esigenze particolari: sistema di trasporto, sistemi di controllo, servizi e mezzi ausiliari.
- Limitazioni pratiche imposte: dall'ubicazione dell'impianto, alle caratteristiche del terreno, alle caratteristiche dei fabbricati esistenti.

Sviluppata la prima idea, si procede con la proposta di alcune alternative, che vanno poi confrontate al fine di ottenere il layout ottimale. In parallelo c'è la possibilità di farsi supportare nell'analisi da software di progettazione del layout.

1.3.9 Ottimizzazioni con gli algoritmi

Alcune fasi di valutazione del layout possono essere fatte con degli strumenti informatici. Questi software vengono usati per supporto al progettista per la

generazione di diverse alternative a partire dalla configurazione iniziale, alla selezione del layout ottimale, prefissati gli obiettivi. Vi sono due tipi di approcci:

- *Algoritmi costruttivi*: partono andando a costruire man mano un layout ex novo, con successiva selezione e posizionamento delle attività o reparti (CORELAP, ALDEP). Questi algoritmi assegnano un punteggio ai gradi di vicinanza nella REL-Chart.
- *Algoritmi migliorativi*: parte da un layout esistente e via via con delle interazioni va a migliorare il layout di partenza, scambiando le attività o i reparti per migliorare il risultato.

ALDEP- Automated Layout Design Program

È un programma costruttivo ideato da IBM, che permette di generare diversi layout e di confrontarli tra loro sulla base di un punteggio.

Genera un layout da zero, non necessita di una prima proposta di layout di partenza.

Il programma riceve in input:

- Relationship chart
- Area complessiva dello stabilimento
- Aree delle diverse attività
- Aree indisponibili
- Minimo punteggio totale di accettazione del layout
- Numero di layout da generare per ogni iterazione
- Scala di misura del layout

E fornisce in output le alternative di layout con punteggio totale di vicinanza.

CORELAP- Computerized Relationship Layout Planning

È un programma costruttivo che permette di posizionare fino ad un massimo di 70 reparti. Richiede di pre-assegnare alcuni reparti lungo la periferia del layout prima di procedere con l'inserimento degli altri reparti.

Analogamente all'ALDEP genera un layout da zero, non necessitando di una prima proposta di layout di partenza.

Il programma riceve in input:

- Relationship chart

- Area complessiva dello stabilimento
- Aree delle diverse attività
- Reparti da pre-assegnare lungo la periferia
- Giudizi di vicinanza

E fornisce in output il layout con il punteggio totale di vicinanza.

CRAFT-Computerized Relative Allocation of Facilities Technique

È un programma migliorativo utilizzato quando il flusso di materiali è particolarmente significativo. Si basa sulla minimizzazione del costo di trasporto interno del flusso dei materiali.

A differenza degli altri algoritmi, il CRAFT necessita di una prima proposta di layout sulla quale intervenire.

Il programma riceve in input:

- From-to Chart
- Numero di reparti e le loro aree
- Layout di partenza
- Costi unitari di trasporto interno dei materiali

E fornisce in output le alternative di layout che minimizzano il costo totale di movimentazione delle materie prime e dei semilavorati tra i reparti.

Il CRAFT si basa sullo scambio tra coppie di reparti per valutare eventuali miglioramenti. Consente di scambiare solamente reparti con bordi in comune o che ricoprono la stessa superficie.

Questo algoritmo presenta alcuni limiti, infatti la soluzione finale dipenderà sempre dal layout iniziale, e permette solo un numero limitato di scambi.

Per il caso studio presentato in questa tesi, si è utilizzato l'algoritmo CRAFT, che ha permesso di raggiungere un risultato soddisfacente, nonostante i limiti sopra citati.

Capitolo 2- Dimensionamento dell'impianto

2.1 Obiettivi

L'obiettivo principale della tesi è di analizzare e ottimizzare il layout di una azienda specializzata nella produzione di quadri elettrici. In un contesto industriale caratterizzato da una crescente competitività e dalla necessità di migliorare l'efficienza operativa, la progettazione di un layout adeguato riveste un ruolo cruciale.

Per poter definire un layout ottimale, è necessario partire dal dimensionamento dei singoli reparti, dal numero di macchinari e dagli operatori presenti in ciascun reparto.

Successivamente sarà possibile determinare lo spazio occupato da ogni reparto e quindi valutare la corretta dimensione dei corridoi e degli spazi circostanti ciascun macchinario, al fine di garantire sicurezza, benessere dei lavoratori e non ostacolare il trasporto interno di materie prime e semilavorati. In questo capitolo viene trattata la fase di dimensionamento.

2.2 Cicli tecnologici e coefficienti di dimensionamento

Le dimensioni del capannone sono di 100x80 m², tutti gli spostamenti vengono eseguiti tramite transpallet, i corridoi hanno una larghezza di 4 m, e vi sono tre magazzini rispettivamente per le lamiere, i prodotti finiti e per il materiale elettrico per il cablaggio; inoltre, all'uscita del reparto di verniciatura è stato assunto un ulteriore spazio di stoccaggio prodotti per l'asciugatura, considerata di 30 minuti.

I reparti presi in considerazione sono i seguenti:

- Taglio (TA)
- Piegatura (PI)
- Piegatura robotizzata (PR)
- Foratura (FO)
- Saldatura (SA)
- Saldatura robotizzata (SR)
- Verniciatura (VE)
- Schiumatura (SC)
- Assemblaggio (AS)
- Cablaggio (CA)
- Imballaggio (IM)

La Tabella 2.1 indica il ciclo tecnologico e i volumi giornalieri di 10 famiglie di prodotti, l'ultima riga indica la superficie occupata da ogni macchinario:

| Ciclo tecnologico e volumi giornalieri | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|--------------|
| Prodotto | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | V [pz/gg] |
| A | 1 | 2 | | | 3 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 |
| B | 1 | 2 | | | 3 | | | 4 | 5 | 6 | 7 | 4 |
| C | 1 | 2 | | | 3 | | 4 | 5 | | | 6 | 6 |
| D | 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | 5 | 6 | 7 | 15 |
| E | 1 | 2 | | | 3 | | 4 | | | | 5 | 4 |
| F | 1 | | 2 | 3 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| G | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 5 |
| H | 1 | 2 | | 3 | 4 | | 5 | | | | 6 | 6 |
| I | 1 | | 2 | | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 12 |
| L | 1 | | 2 | | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 | 8 |
| Area [m ²] | 200 | 25 | 50 | 20 | 15 | 40 | 600 | 150 | 20 | 10 | 10 | |

Tabella 2.1: Ciclo tecnologico e volumi giornalieri

Per il successivo calcolo delle potenzialità di reparto devono essere presi in considerazione i valori dei coefficienti di dimensionamento K_i , i quali consentono di analizzare le inefficienze legate alla produzione dei singoli reparti o dei macchinari. I quattro coefficienti che permettono di quantificare le perdite sono i seguenti:

1. $K_1 = \text{coefficiente di scarto}$

Il valore del K_1 identifica, in percentuale, il materiale scartato o difettoso rispetto alla potenzialità in uscita $Q_{u,j}$; questo comporterà una riduzione del volume prodotto dal reparto preso in considerazione.

Si può dimostrare che:

$$Q_{u,j} = Q_j - S_j \text{ [pz/h]}$$

Dove Q_j identifica la potenzialità in entrata [pz/h] e S_j gli scarti o i pezzi difettosi [pz/h].

$$Q_{u,j} = Q_j - (Q_j P_j) \text{ [pz/h]}$$

Dove P_j identifica la difettosità percentuale o percentuale di scarto.

$$Q_{u,j} = Q_j(1 - P_j) \text{ [pz/h]}$$

Dove $(1 - P_j) = K_1$ coefficiente di rendimento di scarto.

K_1 assume valori compresi tra 0 e 1; se $K_1 = 1$ significa non avere difettosità.

2. $K_2 = \text{coefficiente di disponibilit\`a}$

Il valore del K_2 quantifica l'effettiva disponibilit\`a del macchinario considerando guasti e set up. Il tempo totale della lavorazione \u00e8 calcolato in base alla somma di *uptime* (tempo produttivo del macchinario) e *downtime* (stato di guasto del macchinario).

\u00c8 quindi possibile calcolare il K_2 come segue:

$$K_2 = \frac{UPTIME}{UPTIME + DOWNTIME}$$

Nella Figura 2.1 si evidenzia l'andamento dell'utilizzo del macchinario, considerando un ipotetico guasto.

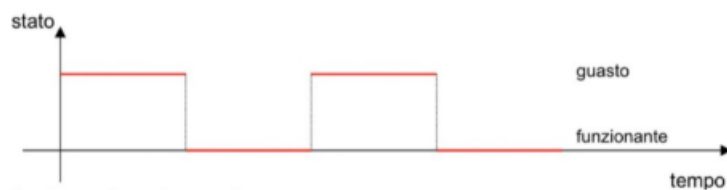


Figura 2.1: Stato di funzionamento/guasto

3. $K_3 = \text{coefficiente di efficienza degli operatori}$

Questo coefficiente, il pi\u00f9 difficile da stimare, indica le performance degli operatori considerando eventuali rallentamenti. Il K_3 assume un valore inferiore all'unit\`a e dipende dalle pause svolte, o dalla stanchezza dell'operatore. Il K_3 assumer\`a valore pari a 1 nel caso di una linea completamente automatizzata.

4. $K_4 = \text{coefficiente di utilizzo}$

Questo valore considera le micro-fermate dovute ad esempio ad inceppamenti del macchinario o mancanze di materie prime; non considera invece i fermi programmati, come ad esempio un set up del macchinario.

Lo si calcola tramite la formula:

$$K_4 = \frac{P_T}{UPTIME}$$

Con il termine P_T si identifica il *production time*, cio\u00e8 l'intervallo di tempo effettivo di produzione, mentre il termine *uptime* indica il tempo in cui il macchinario \u00e8 disponibile.

La Tabella 2.2 riporta i valori dei coefficienti di dimensionamento K assunti.

| Coefficienti di dimensionamento | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| K_1 | 0,98 | 0,99 | 0,98 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,99 | 0,95 | 0,99 | 0,97 | 1 |
| K_2 | 0,9 | 0,85 | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0,93 | 1 | 0,88 | 0,85 | 0,95 | 0,99 |
| K_3 | 0,85 | 0,85 | 1 | 1 | 0,85 | 1 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| K_4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |

Tabella 2.2: Coefficienti di dimensionamento

2.3 Potenzialità dei reparti

La Tabella 2.3 riporta i tempi t_{ij} , cioè i tempi di lavorazione del prodotto i nel reparto j , espressi in [min/pz].

| Tempi di lavorazione | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| Tempo prodotto [min/pz] | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| t_A | 10 | 12 | | | 22 | | 3 | 5 | 30 | 15 | 10 |
| t_B | 9 | 20 | | | 15 | | | 6 | 20 | 20 | 10 |
| t_C | 7,5 | 10 | | | 10 | | 1,5 | 8 | | | 15 |
| t_D | 11 | 8 | | | 35 | | 4,5 | | 40 | 25 | 10 |
| t_E | 7,5 | 15 | | | 20 | | 1,5 | | | | 15 |
| t_F | 6 | | 5 | 20 | | 6 | 2 | 5 | 40 | 20 | 10 |
| t_G | 5 | | 7 | | 10 | | 5 | 7 | 30 | 20 | 8 |
| t_H | 10,5 | 14 | | 25 | 12 | | 3,5 | | | | 8 |
| t_I | 12 | | 5 | | | 8 | 4 | 9 | 30 | 25 | 15 |
| t_L | 8 | | 8 | | 15 | 6 | | 8 | 20 | 15 | 15 |

Tabella 2.3: Tempi di lavorazione

È noto il tempo totale disponibile nel reparto j per lavorare il prodotto i :

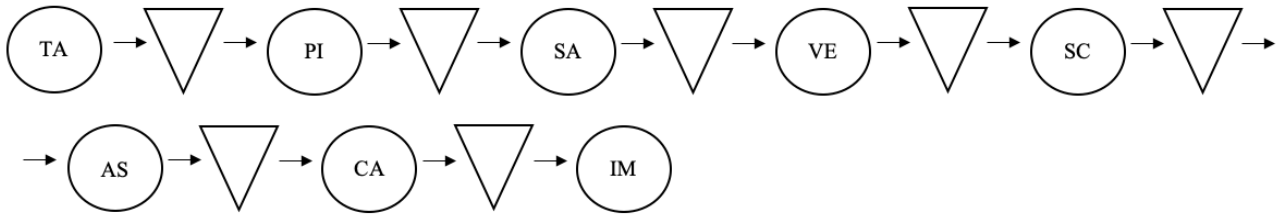
$$N_{ij} = 8 \text{ [h/giorno]}$$

Indicando con j i reparti dell'impianto e con i i prodotti lavorati nei diversi reparti, si possono calcolare le potenzialità di reparto j per i prodotti i :

$$Q_{ij} = \frac{Q_{ui} / \prod_{s=j+1}^{ni} (K_1)_{1s}}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_j}$$

Dove Q_{ui} indica la potenzialità produttiva di ogni prodotto, e Q_{ij} la potenzialità produttiva del prodotto i nel reparto j .

Si prenda come esempio il prodotto A, descritto dal seguente ciclo tecnologico:



$$Q_{IM} = \frac{Q_{uA}}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{IM}} = \frac{8}{(1 * 0,99 * 0,85 * 0,6)_{IM}} = 15,84 [pz/gg]$$

$$Q_{CA} = \frac{Q_{uA}/K_{1,IM}}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{CA}} = \frac{8/1}{(0,97 * 0,95 * 0,85 * 0,6)_{CA}} = 17,02 [pz/gg]$$

$$Q_{AS} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{AS}} = \frac{8/(1 * 0,97)}{(0,99 * 0,85 * 0,85 * 0,6)_{AS}} = 19,22 [pz/gg]$$

$$Q_{SC} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA} * K_{1,AS})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{SC}} = 19,34 [pz/gg]$$

$$Q_{VE} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA} * K_{1,AS} * K_{1,SC})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{VE}} = 17,37 [pz/gg]$$

$$Q_{SA} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA} * K_{1,AS} * K_{1,SC} * K_{1,VE})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{SA}} = 19,24 [pz/gg]$$

$$Q_{PI} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA} * K_{1,AS} * K_{1,SC} * K_{1,VE} * K_{1,SA})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{PI}} = 21,73 [pz/gg]$$

$$Q_{TA} = \frac{Q_{uA}/(K_{1,IM} * K_{1,CA} * K_{1,AS} * K_{1,SC} * K_{1,VE} * K_{1,SA} * K_{1,PI})}{(K_1 K_2 K_3 K_4)_{TA}} = 20,94 [pz/gg]ca$$

Si applica poi lo stesso ragionamento per gli altri nove prodotti e le relative lavorazioni. I risultati vengono riassunti in Tabella 2.4:

| Volumi per stadio produttivo Q [pz/gg] | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prodotto | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| A | 20,94 | 21,73 | | | 19,24 | | 17,37 | 19,54 | 19,22 | 17,02 | 15,84 |
| B | 10,36 | 10,75 | | | 9,53 | | | 9,77 | 9,61 | 8,51 | 7,92 |
| C | 15,08 | 15,65 | | | 13,86 | | 12,51 | 14,07 | | | 11,88 |
| D | 37,30 | 38,70 | | | 34,28 | | 30,94 | | 36,03 | 31,92 | 29,71 |
| E | 9,55 | 9,91 | | | 8,78 | | 7,92 | | | | 7,92 |
| F | 27,55 | | 23,20 | 22,00 | | 20,46 | 21,71 | 24,42 | 24,02 | 21,28 | 19,81 |
| G | 13,22 | | 11,14 | | 12,03 | | 10,86 | 12,21 | 12,01 | 10,64 | 9,90 |
| H | 15,24 | 15,81 | | 12,29 | 13,17 | | 11,88 | | | | 11,88 |
| I | 31,07 | | 26,17 | | | 24,55 | 26,05 | 29,31 | 28,83 | 25,53 | 23,77 |
| L | 21,59 | | 18,18 | | 19,64 | 16,20 | | 19,54 | 19,22 | 17,02 | 15,84 |

Tabella 2.4: Volumi per stadio produttivo

2.4 Numero di macchinari e coefficienti di utilizzo

Il numero di macchinari di tipo j necessari per processare il prodotto i si calcola applicando la seguente formula:

$$M'_{ij} = \frac{Q_{ij} * t_{ij}}{N_{ij}}$$

Si riporta come esempio il calcolo del numero di macchinari teorico del taglio (TA) per il prodotto A:

$$M'_{A,TA} = \frac{20,94 * 10}{8 * 60} = 0,4362$$

Lo stesso ragionamento si può estendere a tutti i prodotti, i risultati vengono riportati in Tabella 2.5:

| Numero teorico di macchinari per prodotto [adimensionale] | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prodotto | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| A | 0,436 | 0,543 | | | 0,882 | | 0,109 | 0,204 | 1,201 | 0,532 | 0,330 |
| B | 0,194 | 0,448 | | | 0,298 | | | 0,122 | 0,400 | 0,355 | 0,165 |
| C | 0,236 | 0,326 | | | 0,289 | | 0,039 | 0,235 | | | 0,371 |
| D | 0,855 | 0,645 | | | 2,500 | | 0,290 | | 3,003 | 1,662 | 0,619 |
| E | 0,149 | 0,310 | | | 0,366 | | 0,025 | | | | 0,248 |
| F | 0,344 | | 0,242 | 0,917 | | 0,256 | 0,090 | 0,254 | 2,002 | 0,887 | 0,413 |
| G | 0,138 | | 0,162 | | 0,251 | | 0,113 | 0,178 | 0,751 | 0,443 | 0,165 |
| H | 0,333 | 0,461 | | 0,640 | 0,329 | | 0,087 | | | | 0,198 |
| I | 0,777 | | 0,273 | | | 0,409 | 0,217 | 0,550 | 1,802 | 1,330 | 0,743 |
| L | 0,360 | | 0,303 | | 0,614 | 0,203 | | 0,326 | 0,801 | 0,532 | 0,495 |

Tabella 2.5: Numero teorico di macchinari per prodotto

Il numero teorico di macchinari nel reparto j necessario per produrre tutti i prodotti che attraversano j si calcola nel modo seguente:

$$M'_j = \sum_{i=1}^m M'_{ij}$$

Si riporta l'esempio relativo al calcolo del numero teorico di macchinari del reparto del taglio:

$$M'_{TA} = 0,44 + 0,19 + 0,24 + 0,86 + 0,15 + 0,25 + 0,14 + 0,33 + 0,78 + 0,36 = 3,82$$

Il numero reale di macchinari nel reparto j si calcola prendendo l'intero superiore:

$$M_j = [M'_j]$$

Utilizzando la formula per il reparto di taglio, il numero reale di macchinari si ricava:

$$M_{TA} = [3,82] = 4$$

Si può ora procedere al calcolo dell'area totale occupata dai macchinari all'interno di ciascun reparto moltiplicando il numero M_j per l'area della singola macchina.

I risultati vengono riassunti nella Tabella 2.6:

| Numero di macchinari per ogni reparto | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| M'_j | 3,82 | 2,73 | 0,98 | 1,56 | 5,53 | 0,87 | 0,97 | 1,87 | 9,96 | 5,74 | 3,75 |
| M_j | 4 | 3 | 1 | 2 | 6 | 1 | 1 | 2 | 10 | 6 | 4 |
| Area totale [m ²] | 800 | 75 | 50 | 40 | 90 | 40 | 600 | 300 | 200 | 60 | 40 |

Tabella 2.6: Numero di macchinari per ogni reparto

I coefficienti di utilizzo teorico e reale di ogni reparto j si calcolano:

$$U_{tj} = \frac{M'_j}{M_j}$$

$$U_{rj} = U_{tj} * K_{4j}$$

Prendendo sempre come esempio il reparto di taglio e i valori K_{4j} di Tabella 2.2:

$$U_{tj} = \frac{3,82}{4} = 0,955$$

$$U_{rj} = 0,955 * 0,6 = 0,573$$

Si riportano i coefficienti di utilizzo in Tabella 2.7:

| Coefficienti di utilizzo | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| U_{tj} | 0,96 | 0,91 | 0,98 | 0,78 | 0,92 | 0,87 | 0,97 | 0,93 | 1,00 | 0,96 | 0,94 |
| U_{rj} | 0,57 | 0,55 | 0,59 | 0,47 | 0,55 | 0,52 | 0,58 | 0,56 | 0,60 | 0,57 | 0,56 |
| $U_{rj}\%$ | 57,3% | 54,7% | 58,8% | 46,7% | 55,3% | 52,0% | 58,2% | 56,0% | 59,8% | 57,4% | 56,2% |

Tabella 2.7: Coefficienti di utilizzo

I coefficienti di utilizzo calcolati sono perfettamente in linea con i valori attesi per un impianto in zona II, organizzato in reparti.

2.6 Numero di Operatori

Si procede ora con il calcolo del numero degli operatori, assumendo i seguenti tempi nominali per ogni reparto:

| Tempi nominali di lavorazione di un operatore [min/pz] | | | | | | | | | | | |
|--|-----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|
| | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| $t_{OP,A}$ | 6 | 10 | | | 20 | | 1 | 1 | 26 | 11 | 9 |
| $t_{OP,B}$ | 5 | 18 | | | 13 | | | 5 | 19 | 18 | 7 |
| $t_{OP,C}$ | 5,5 | 7 | | | 6 | | 1 | 6 | | | 14 |
| $t_{OP,D}$ | 10 | 7 | | | 32 | | 1,5 | | 38 | 21 | 6 |
| $t_{OP,E}$ | 5,5 | 14 | | | 17 | | 1 | | | | 13 |
| $t_{OP,F}$ | 5 | | 4 | 17 | | 3 | 1 | 2 | 36 | 17 | 9 |
| $t_{OP,G}$ | 1 | | 4 | | 7 | | 1 | 3 | 27 | 19 | 7 |
| $t_{OP,H}$ | 8,5 | 11 | | 24 | 8 | | 1,5 | | | | 4 |
| $t_{OP,I}$ | 10 | | 4 | | | 4 | 1,5 | 8 | 26 | 24 | 12 |
| $t_{OP,L}$ | 6 | | 5 | | 13 | 5 | | 4 | 19 | 14 | 13 |

Tabella 2.8: Tempi nominali di lavorazione di un operatore

Considerando un rendimento del 95%, il numero di operatori si calcola:

$$O_{ij} = \frac{Q_{ij} * (t_{OP,ij} / \eta_{OP})}{N_{ij}}$$

Per il prodotto A nel reparto di taglio si ottiene:

$$O_{ij} = \frac{20,94 * (\frac{6}{0,95})}{480} = 0,275$$

| Operatori per processo | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prodotto | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| A | 0,275 | 0,476 | | | 0,844 | | 0,038 | 0,043 | 1,096 | 0,411 | 0,313 |
| B | 0,114 | 0,425 | | | 0,272 | | | 0,107 | 0,400 | 0,336 | 0,122 |
| C | 0,182 | 0,240 | | | 0,182 | | 0,027 | 0,185 | | | 0,365 |
| D | 0,818 | 0,594 | | | 2,406 | | 0,102 | | 3,003 | 1,470 | 0,391 |
| E | 0,115 | 0,304 | | | 0,327 | | 0,017 | | | | 0,226 |
| F | 0,302 | | 0,204 | 0,820 | | 0,135 | 0,048 | 0,107 | 1,896 | 0,793 | 0,391 |
| G | 0,029 | | 0,098 | | 0,185 | | 0,024 | 0,080 | 0,711 | 0,443 | 0,152 |
| H | 0,284 | 0,381 | | 0,647 | 0,231 | | 0,039 | | | | 0,104 |
| I | 0,681 | | 0,230 | | | 0,215 | 0,086 | 0,514 | 1,644 | 1,344 | 0,625 |
| L | 0,284 | | 0,199 | | 0,560 | 0,178 | | 0,171 | 0,801 | 0,523 | 0,452 |

Tabella 2.9: Operatori per processo

Il numero di operatori ideali del reparto j si calcola:

$$O'_j = \sum_{i=1}^n O_{ij}$$

Nel caso in esame:

$$O'_{TA} = 0,275 + 0,114 + \dots + 0,681 + 0,284 = 3,084$$

Supponendo di avere operatori dedicati ad ogni reparto, si può calcolare il numero reale di operatori:

$$O_j = [O'_j]$$

Utilizzando la formula per il reparto del taglio, il numero reale di operatori si ricava:

$$O_{TA} = [3,084] = 4$$

Si riassumono i risultati nella seguente tabella:

| Numero operatori per reparto | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prodotto | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM |
| O'_j | 3,085 | 2,421 | 0,730 | 1,467 | 5,006 | 0,528 | 0,381 | 1,208 | 9,551 | 5,320 | 3,140 |
| O_j | 4 | 3 | 1 | 2 | 6 | 1 | 1 | 2 | 10 | 6 | 4 |

Tabella 2.10: Numero operatori per reparto

Capitolo 3 – Ottimizzazione del Layout

3.1 Considerazioni generali

Dopo aver completato il dimensionamento dell'impianto, è possibile dedicarsi all'analisi e all'ottimizzazione del layout.

Il criterio fondamentale sul quale si fonda lo studio dell'organizzazione interna dei reparti è costituito dalla minimizzazione dei costi di trasporto interno delle materie prime e dei semilavorati.

Riuscire a ottenere anche un modesto risparmio quotidiano sui costi delle movimentazioni interne può tradursi in significativi risparmi economici su base annua. Questo costituisce un vantaggio per l'intera impresa che può investire tali risorse monetarie in azioni volte al miglioramento della stessa, oltre a favorire la stabilità economica nel lungo termine.

3.1.1 From-To Chart

Il primo passaggio per adempiere all'obiettivo sopra citato consiste nella stesura della From-To Chart, che permette di evidenziare i flussi operativi tra i reparti dell'impianto.

Costituisce pertanto un fondamentale punto di partenza per la stesura di una prima proposta di layout.

| FROM-TO CHART | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|----|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| From/To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 201,9 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 112,6 | 78,7 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 12,3 | 85,7 | | | | | | | |
| PR | | | | | 22,0 | 31,7 | 24,5 | | | | | | |
| FO | | | | | | 13,2 | 20,5 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 16,2 | 91,5 | 9,8 | | | | |
| SR | | | | | | | | 47,8 | 19,5 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 99,6 | 36,0 | | 19,8 | |
| SC | | | | | | | | | | 112,9 | | 11,9 | |
| AS | | | | | | | | | | | 131,9 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 122,8 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 154,5 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.1: From-To Chart

3.1.2 Costo unitario di movimentazione interna

Il trasporto di materie prime, semilavorati e prodotti finiti tra i reparti e i magazzini, viene effettuato per mezzo di transpallet, cioè attraverso una movimentazione manuale.

Il costo unitario di movimentazione interna attraverso l'impianto è di 0,02 €/m.

3.2 Prima proposta di layout

A seguito dei risultati ottenuti nel capitolo precedente, si valuta un'idea di partenza:

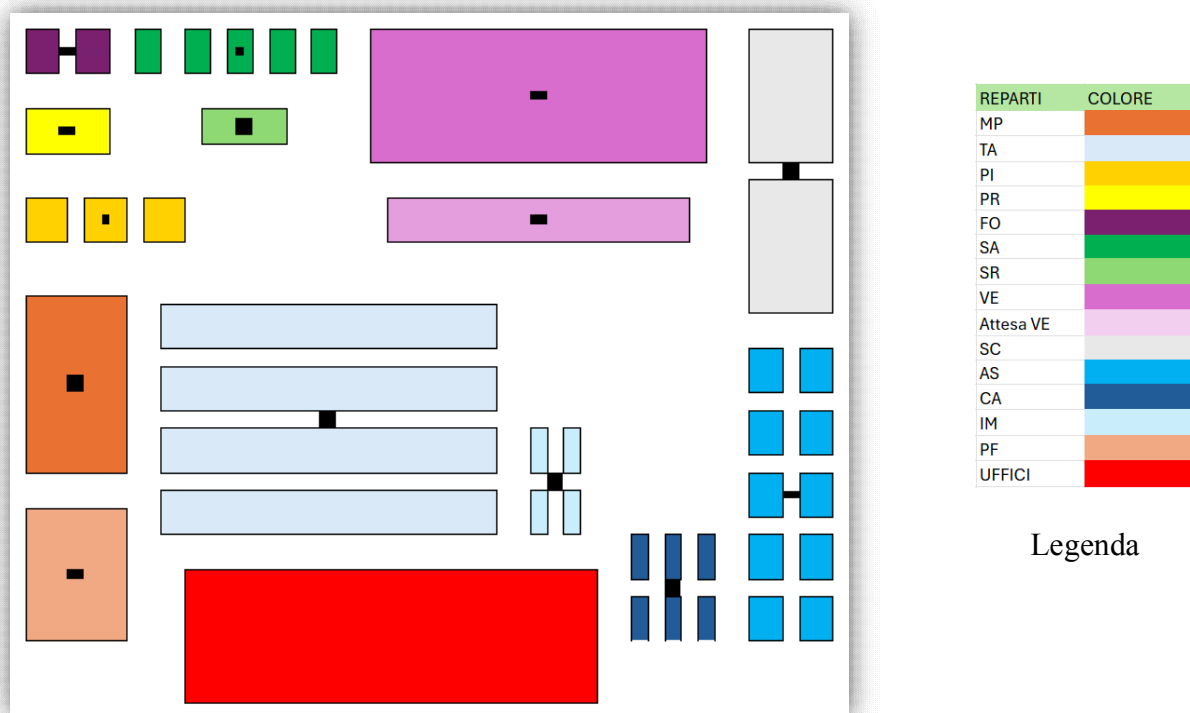


Figura 3.1: Prima proposta

Sono stati analizzati i flussi logistici relativi ai diversi prodotti al fine di ottenere una rappresentazione grafica dei movimenti del materiale in corso di lavorazione.

Ne consegue la seguente raffigurazione:

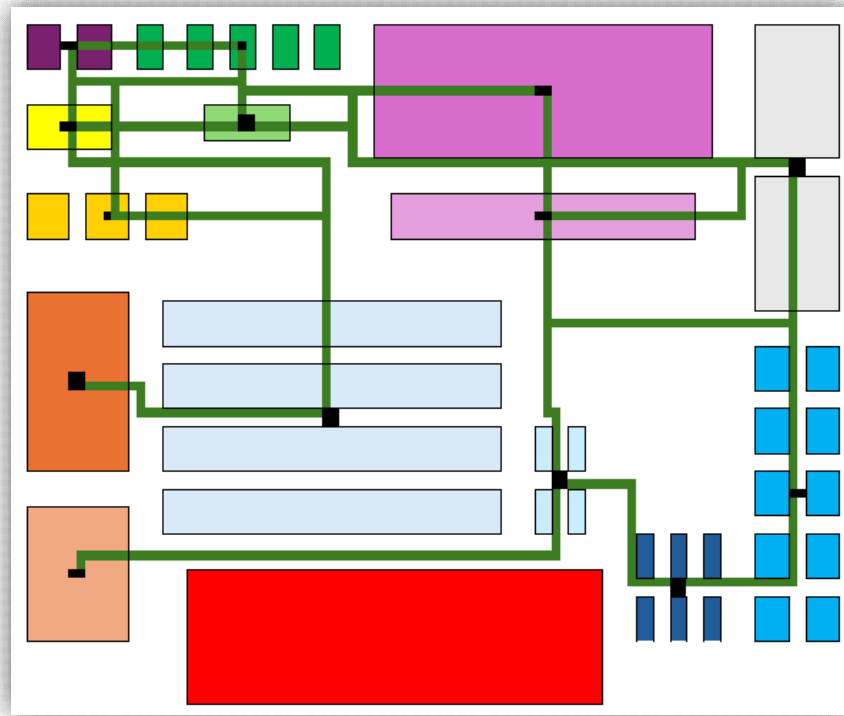


Figura 3.2: Flussi logistici della prima proposta

Sono poi state calcolate le distanze (in metri) coperte da ciascun prodotto durante la movimentazione tra i reparti, a partire dalla Figura 3.2. Si riportano i risultati nella Tabella 3.2.

| FROM-TO CHART DISTANZE - PRIMO LAYOUT | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 31,0 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 47,0 | 61,0 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 24,0 | 33,0 | | | | | | | |
| PR | | | | | 8,0 | 28,0 | 19,0 | | | | | | |
| FO | | | | | | 19,0 | 27,0 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 7,0 | 39,0 | 77,0 | | | | |
| SR | | | | | | | | 37,0 | 67,0 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 47,0 | 72,0 | | 42,0 | |
| SC | | | | | | | | | | 35,0 | | 63,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 22,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 23,0 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 65,0 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.2: From-To Chart distanze – primo layout

Si può dunque risalire ai costi complessivi, moltiplicando le distanze calcolate per il costo unitario di movimentazione interna.

| FROM-TO CHART COSTI - PRIMO LAYOUT | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 125,2 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 105,8 | 96,0 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 5,9 | 56,6 | | | | | | | |
| PR | | | | | 3,5 | 17,7 | 9,3 | | | | | | |
| FO | | | | | | 5,0 | 11,0 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 2,3 | 71,4 | 15,0 | | | | |
| SR | | | | | | | | 35,3 | 26,2 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 93,6 | 51,9 | | 16,6 | |
| SC | | | | | | | | | | 79,0 | | 15,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 58,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 56,5 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 200,8 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |
| COSTO TOTALE | | | 1158 | | | | | | | | | | |

Tabella 3.3: From-To Chart costi – primo layout

3.2.1 Applicazione metodo CRAFT

Si applica dunque il CRAFT al fine di ottimizzare il layout dell'impianto e di ridurre i costi relativi alle movimentazioni dei materiali.

Sono stati effettuati due cambiamenti:

- È stata cambiata la disposizione dei macchinari all'interno del reparto di piegatura
- Spostamento del reparto di piegatura robotizzata

Ne consegue però una riduzione alquanto irrisoria dei costi complessivi di movimentazione interna.

Segue la nuova disposizione dei reparti in Figura 3.3 e relativi flussi logistici in Figura 3.4.

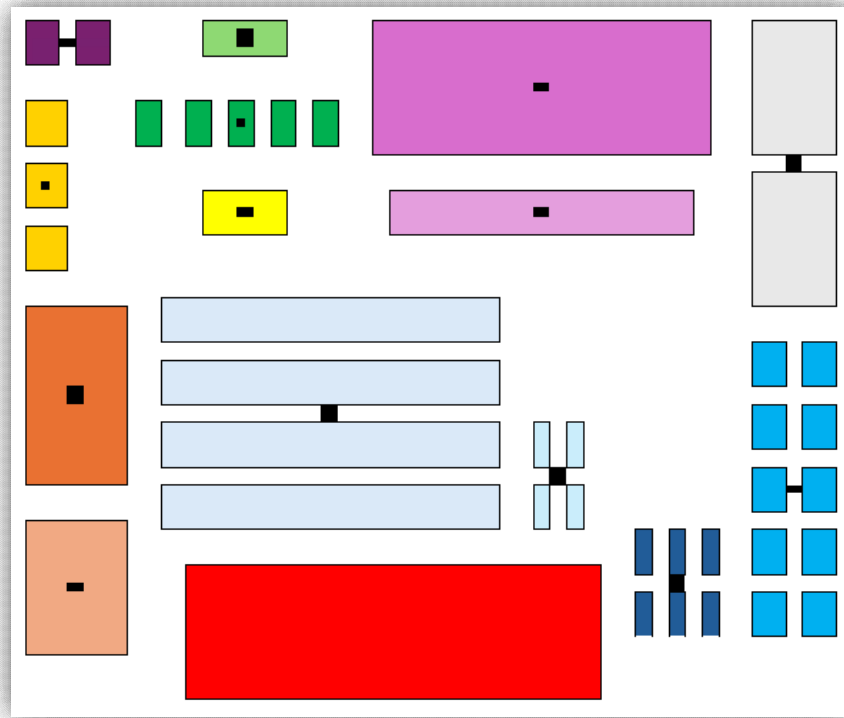


Figura 3.3: Prima proposta migliorata

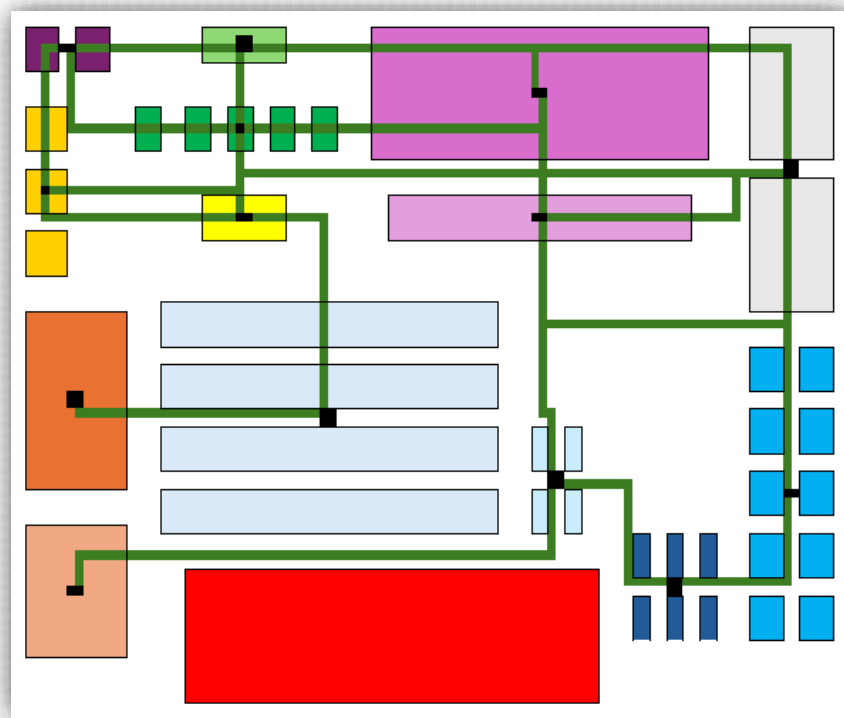


Figura 3.4: Flussi logistici della prima proposta migliorata

Vengono riassunti i risultati trovati nelle From-To Chart delle distanze e dei costi della nuova soluzione di layout.

| FROM-TO CHART DISTANZE – PRIMO LAYOUT MIGLIORATO | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 29,0 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 57,0 | 30,0 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 17,0 | 29,0 | | | | | | | |
| PR | | | | | 38,0 | 9,0 | 18,0 | | | | | | |
| FO | | | | | | 28,0 | 19,0 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 8,0 | 39,0 | 69,0 | | | | |
| SR | | | | | | | | 38,0 | 76,0 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 46,0 | 72,0 | | 42,0 | |
| SC | | | | | | | | | | 35,0 | | 63,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 22,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 23,0 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 67,0 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.4: From-To Chart distanze – primo layout migliorato

| FROM-TO CHART COSTI - PRIMO LAYOUT MIGLIORATO | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|-------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 117,1 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 128,3 | 47,2 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 4,2 | 49,7 | | | | | | | |
| PR | | | | | 16,7 | 5,7 | 8,8 | | | | | | |
| FO | | | | | | 7,4 | 7,8 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 2,6 | 71,4 | 13,5 | | | | |
| SR | | | | | | | | 36,3 | 29,7 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 91,6 | 51,9 | | 16,6 | |
| SC | | | | | | | | | | 79,0 | | 15,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 58,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 56,5 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 207,0 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |
| COSTO TOTALE | | | 1122 | | | | | | | | | | |

Tabella 3.5: From-To Chart costi – primo layout migliorato

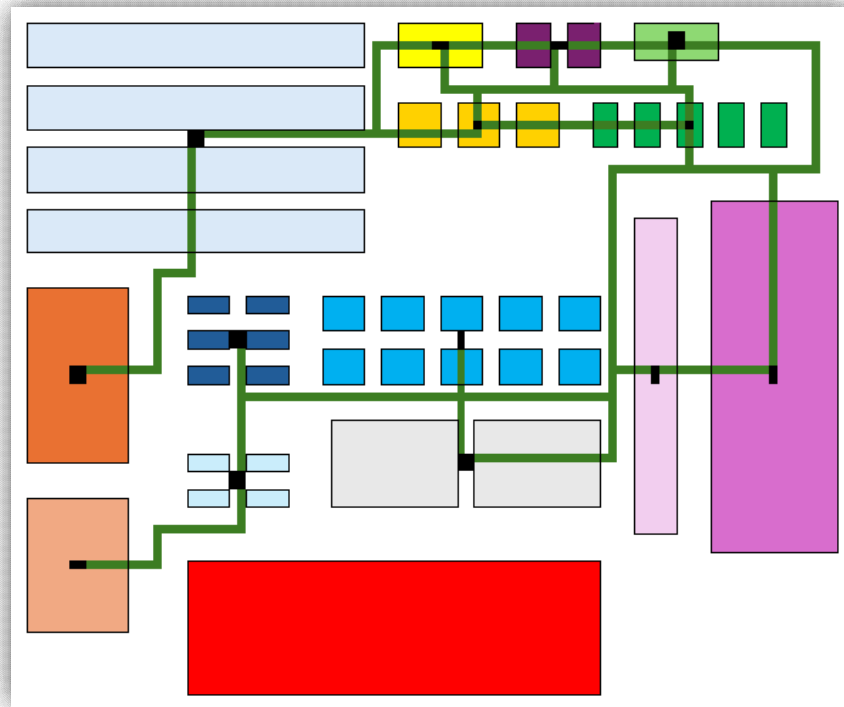


Figura 3.6: Flussi logistici della seconda proposta

Partendo da questa nuova configurazione si procede con il calcolo delle nuove distanze ed i relativi costi logistici nella From-To Chart.

| FROM-TO CHART DISTANZE – SECONDO LAYOUT | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 38,0 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 33,0 | 37,0 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 17,0 | 24,0 | | | | | | | |
| PR | | | | | 12,0 | 37,0 | 36,0 | | | | | | |
| FO | | | | | | 24,0 | 12,0 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 10,0 | 37,0 | 63,0 | | | | |
| SR | | | | | | | | 57,0 | 103,0 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 44,0 | 45,0 | | 74,0 | |
| SC | | | | | | | | | | 12,0 | | 41,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 37,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 14,0 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 27,0 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.6: From-To Chart distanze – secondo layout

| FROM-TO CHART COSTI – SECONDO LAYOUT | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 153,4 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 74,3 | 58,2 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 4,2 | 41,1 | | | | | | | |
| PR | | | | | 5,3 | 23,4 | 17,7 | | | | | | |
| FO | | | | | | 6,3 | 4,9 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 3,2 | 67,7 | 12,3 | | | | |
| SR | | | | | | | | 54,4 | 40,3 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 87,6 | 32,4 | | 29,3 | |
| SC | | | | | | | | | | 27,1 | | 9,7 | |
| AS | | | | | | | | | | | 97,6 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 34,4 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 83,4 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |
| COSTO TOTALE | | | 968 | | | | | | | | | | |

Tabella 3.7: From-To Chart costi – secondo layout

3.3.1 Applicazione metodo CRAFT

Viene applicato il CRAFT alla corrente proposta.

Si è effettuato un solo scambio, tra il reparto di assemblaggio e il reparto di schiumatura.

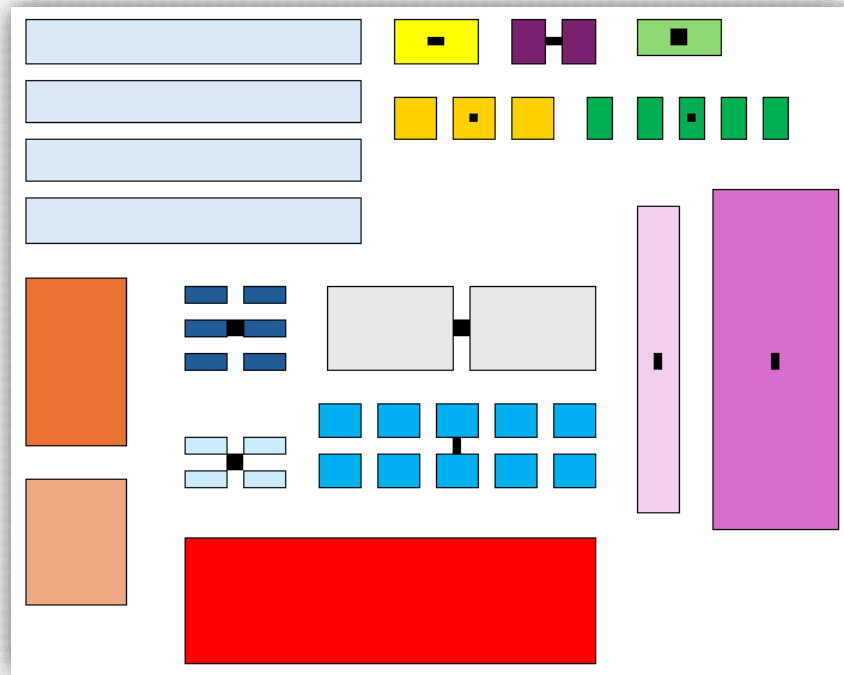


Figura 3.7: Seconda proposta migliorata

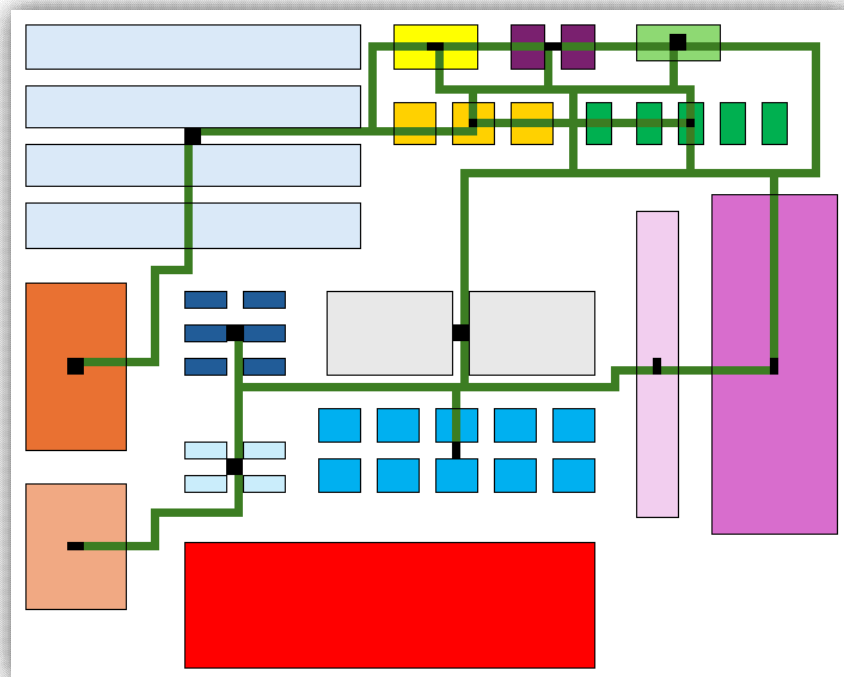


Figura 3.8: Flussi logistici della seconda proposta migliorata

Si riportano le nuove distanze tra i reparti nella Tabella 3.8, ed i relativi costi nella Tabella 3.9:

| FROM-TO CHART DISTANZE - SECONDO LAYOUT MIGLIORATO | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 38,0 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 33,0 | 37,0 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 17,0 | 24,0 | | | | | | | |
| PR | | | | | 12,0 | 37,0 | 36,0 | | | | | | |
| FO | | | | | | 24,0 | 12,0 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 10,0 | 37,0 | 49,0 | | | | |
| SR | | | | | | | | 57,0 | 56,0 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 42,0 | 44,0 | | 74,0 | |
| SC | | | | | | | | | | 13,0 | | 41,0 | |
| AS | | | | | | | | | | | 38,0 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 14,0 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 27,0 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 3.8: From-To Chart distanze – secondo layout migliorato

| FROM-TO CHART COSTI - SECONDO LAYOUT MIGLIORATO | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|-------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| From-To | MP | TA | PI | PR | FO | SA | SR | VE | SC | AS | CA | IM | PF |
| MP | | 153,4 | | | | | | | | | | | |
| TA | | | 74,3 | 58,2 | | | | | | | | | |
| PI | | | | | 4,2 | 41,1 | | | | | | | |
| PR | | | | | 5,3 | 23,4 | 17,7 | | | | | | |
| FO | | | | | | 6,3 | 4,9 | | | | | | |
| SA | | | | | | | 3,2 | 67,7 | 9,6 | | | | |
| SR | | | | | | | | 54,4 | 21,9 | | | | |
| VE | | | | | | | | | 83,6 | 31,7 | | 29,3 | |
| SC | | | | | | | | | | 29,4 | | 9,7 | |
| AS | | | | | | | | | | | 100,3 | | |
| CA | | | | | | | | | | | | 34,4 | |
| IM | | | | | | | | | | | | | 83,4 |
| PF | | | | | | | | | | | | | |
| COSTO TOTALE | | | 948 | | | | | | | | | | |

Tabella 3.9: From-To Chart costi – secondo layout migliorato

3.4 Discussione

L'istogramma evidenzia chiaramente come l'ultimo layout proposto risulti essere il più vantaggioso in termini di costi, risultando inferiore rispetto agli altri layout analizzati. In particolare, il confronto con il primo layout mette in luce una significativa riduzione dei costi associati al trasporto delle merci, dimostrando così l'efficacia delle modifiche apportate nella pianificazione dello spazio e dei flussi operativi.

Il grafico ad anello visualizza la convenienza dell'ultimo layout rispetto al primo. Con lo studio effettuato si arriva ad un risparmio giornaliero del 15%.



Figura 3.9: Andamento dei costi nelle diverse proposte di layout

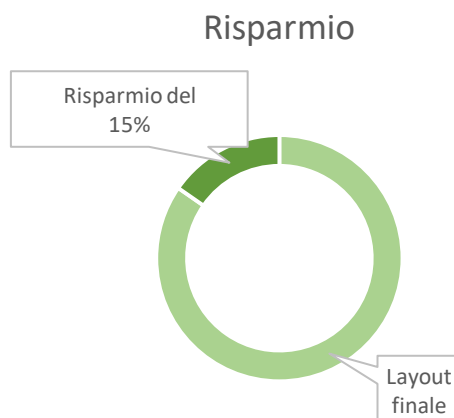


Figura 3.10: Risparmio dei costi nel layout finale rispetto alla proposta iniziale

Capitolo 4– Simulazione del layout tramite software di simulazione Flexsim

4.1 Introduzione

Flexsim è un software di simulazione ad eventi discreti che permette di modellare, simulare e visualizzare l'organizzazione dell'impresa nella sua interezza: dalle materie prime, alle lavorazioni, allo stoccaggio dei semilavorati e dei prodotti finiti.

Uno degli aspetti che rende Flexsim unico è la possibilità di creare rappresentazioni 3D dei sistemi aziendali, al contrario di altri software di simulazione che permettono di costruire unicamente modelli teorici.

È uno strumento potente e al contempo intuitivo, attraverso il quale è stato possibile verificare l'efficacia del layout dell'azienda produttrice di quadri elettrici presa in considerazione nel caso studio dell'elaborato.

Si è svolta la simulazione delle due diverse proposte di layout presentate nel capitolo 3 a seguito dell'applicazione del metodo CRAFT (rispettivamente *primo layout migliorato* e *secondo layout migliorato*).

In questo capitolo verranno riportati, confrontati e discussi i risultati ottenuti.

Si riportano di seguito i componenti impiegati nella simulazione.

4.2 Fixed Resources

4.2.1 Blocco Source

Il blocco *Source* genera il flusso di materie prime da lavorare; si inserisce all'inizio del modello per garantire l'approvvigionamento dei prodotti.

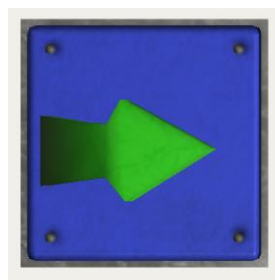


Figura 4.1: Source

4.2.2 Blocco Processor

Il *Processor* trasforma i prodotti in entrata ed è caratterizzato da un tempo di set up e uno di processo. Può elaborare più di un elemento alla volta fino al raggiungimento del limite massimo. Se previsto, il *Processor* può richiamare degli operatori.



Figura 4.2: Processor

4.2.3 Blocco Combiner

Il *Combiner* viene utilizzato per raggruppare più elementi di flusso mentre attraversano il modello. Può unire gli elementi permanentemente oppure può impacchettarli in modo che possano essere separati in un secondo momento.



Figura 4.3: Combiner

4.2.4 Blocco Sink

Il *Sink* si inserisce in seguito al *Processor* e viene utilizzato per raccogliere i prodotti che vengono scartati dal ciclo produttivo. Una volta che un elemento di flusso entra in un *Sink*, non può essere recuperato. È una risorsa fissa e, dato che distrugge tutti gli elementi di flusso che riceve, non ha alcuna logica di output.



Figura 4.4: Sink

4.3 Task Executer

4.3.1 Operator

Gli operatori vengono chiamati dalle *fixed resources* durante i tempi di installazione, elaborazione o riparazione. Terminato il tempo di permanenza si può spostare di postazione. Possono trasportare oggetti e seguire percorsi preindicati.

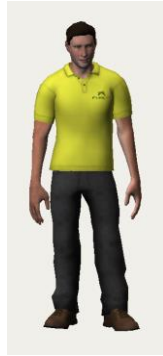


Figura 4.5: Operatore

4.4 Travel Networks

4.4.1 NetworkNode

I *Network Node* vengono utilizzati per definire una rete di percorsi che i trasportatori e gli operatori seguono. I percorsi possono essere modificati aggiungendo curvature e in automatico verrà mostrato il percorso più breve.

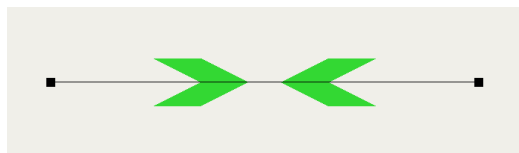


Figura 4.6: Network Node

4.5 Warehousing

4.5.1 Rack

Il *Rack* conserva gli oggetti come se fosse un magazzino; si definiscono livelli e baie per posizionare i vari elementi in entrata. È una risorsa fissa e riceverà elementi fino al valore massimo impostato. Dopo un tempo definito manderà il prodotto alla stazione successiva.



Figura 4.7: Rack

4.6 Set Up

4.6.1 Impostazioni source

Per rappresentare i 10 prodotti realizzati dall'impresa sono state utilizzate delle "Box", ad ognuna delle quali è stato associato un colore proprio. Dato che ogni prodotto richiede tempi di lavorazione e un ciclo tecnologico differenti, è stato necessario assegnare un valore a ciascun prodotto seguendo il percorso riportato:

Triggers → *On Creation* → *Set label*

Di seguito la legenda:

| Prodotto | Label | Colore |
|----------|-------|--------------|
| A | 1 | Red |
| B | 2 | Dark Green |
| C | 3 | Blue |
| D | 4 | Yellow |
| E | 5 | Orange |
| F | 6 | Purple |
| G | 7 | Bright Green |
| H | 8 | Pink |
| I | 9 | Grey |
| L | 10 | Dark Blue |

Fig. 4.8: Legenda reparti

Si riportano le *Properties* di *Prodotto_A*:

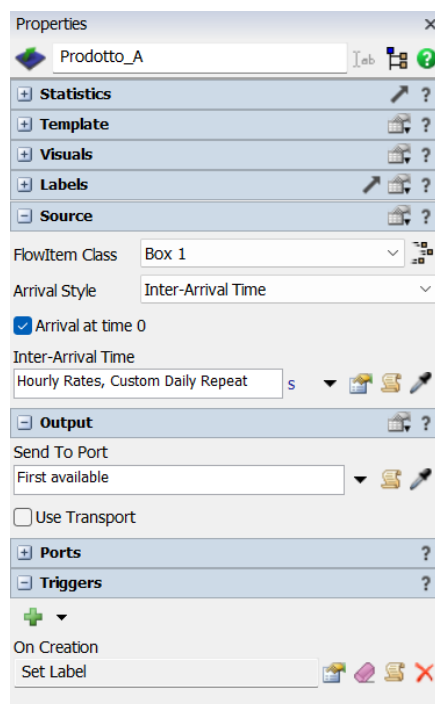


Figura 4.9: Proprietà Prodotto_A (FlexSim)

Le *Source* di ogni prodotto sono state successivamente collegate ad un *Rack* che funge da magazzino materie prime.

4.6.2 Impostazioni Processor

Per rappresentare i macchinari, si associa ad ogni singolo reparto il numero di *Processor* corrispondenti. All'interno di ognuno di essi sono state modificate le seguenti variabili:

- *Processor*

Dato che ogni prodotto ha tempi di lavorazione differenti si è scelto di utilizzare il seguente percorso:

Processor → *Process Time* → *Values by Case*

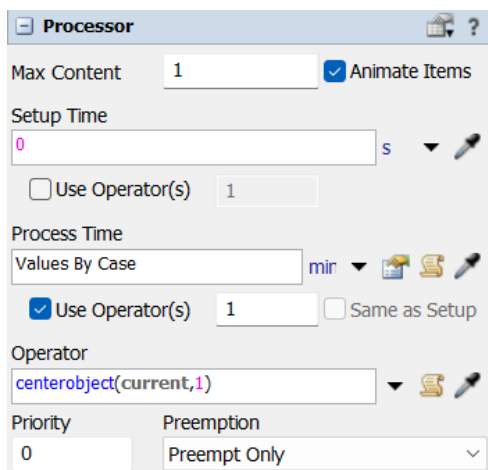


Figura 4.10: Processor Prodotto_A

| Case | Time |
|---------|------|
| Default | 1 |
| 1 | 10 |
| 2 | 9 |
| 3 | 7.5 |
| 4 | 11 |
| 5 | 7.5 |
| 6 | 6 |
| 7 | 5 |
| 8 | 10.5 |
| 9 | 12 |
| 10 | 8 |

Figura 4.11: Values By Case

- *Output*

In base alle diverse esigenze sono stati usati due differenti metodi di selezione output. Per rappresentare i K_1 dei vari macchinari è stata utilizzato il seguente percorso:

Output → *Send to Port* → *By Percentage*

Vista la diversità dei cicli tecnologici dei vari prodotti in alcuni casi sarebbe opportuno usare anche il comando *Port by Case*; tuttavia, data l'impossibilità di utilizzare entrambe le funzioni contemporaneamente si è deciso di modificare direttamente il codice, come nella Figura 4.12.

```

1 Object item = param(1);
2 Object current = ownerobject(c);
3
4 int stream = getstream(current);
5 double randomnum = uniform(0.0, 100.0, stream);
6 double total = 0.0;
7
8 total += 1 ;
9 if (randomnum <= total)
10     return 3 ;
11
12 if (randomnum > total){
13     Variant value = item.Type ;
14 }
15
16 if (value == 8) {
17     return 2 ;
18 }
19 return 1;

```

Figura 4.12: Codice Output

Il codice in Figura 4.12 genera una variabile double “*randomnum*”, la quale assume un valore casuale da 0,0 a 100,0. Si crea poi una variabile double “*total*”, che rappresenta la percentuale degli scarti. Se il numero casuale generato è minore di “*total*” allora il pezzo sarà considerato scarto e terminerà nel *Sink*. Altrimenti il pezzo raggiungerà una destinazione differente a seconda di ciò che è stato inserito nel *Port By Case*.

- *Coefficienti di Dimensionamento*

Per rappresentare i coefficienti K_2 , K_3 , K_4 , sono state utilizzate le funzioni MTBF e MTTR disponibili nel toolbox.

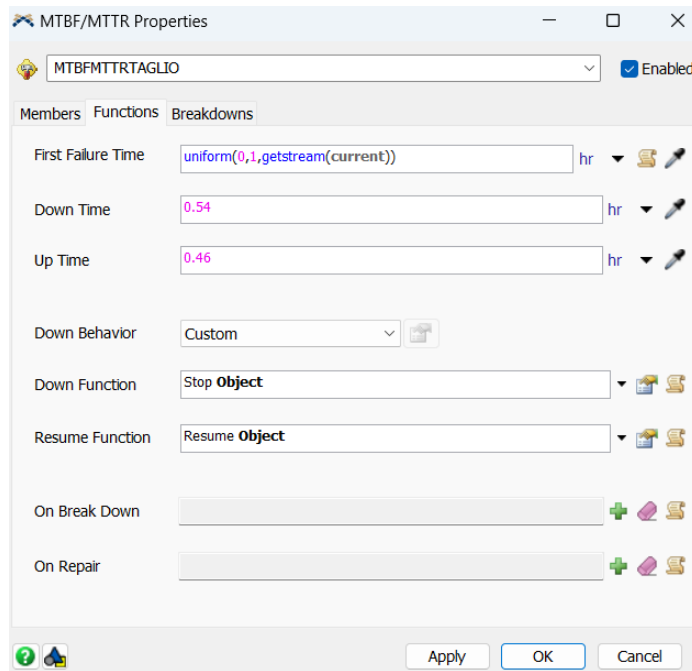


Figura 4.13: MTBF/MTTR Taglio

L'*Up Time* è stato calcolato con la seguente operazione:

$$Up\ Time = N_{ij} * K_2 * K_3 * K_4$$

Il *Down Time* si ricava da:

$$Down\ Time = 1 - Up\ Time$$

Per distribuire il fermo macchina nell'arco della giornata entrambi i valori sono stati divisi per le ore lavorative.

Per il *First Failure Time* è stata usata la distribuzione *Uniform*, in modo da ricavare un valore decimale casuale compreso tra 0 e 1 [ore].

4.6.3 Impostazioni Rack

Le dimensioni del *Rack* variano a seconda del numero di prodotti che il reparto corrispondente deve processare. Ad ogni tipologia di prodotto è stato assegnato uno slot attraverso la funzione *Paint Slot Labels*.

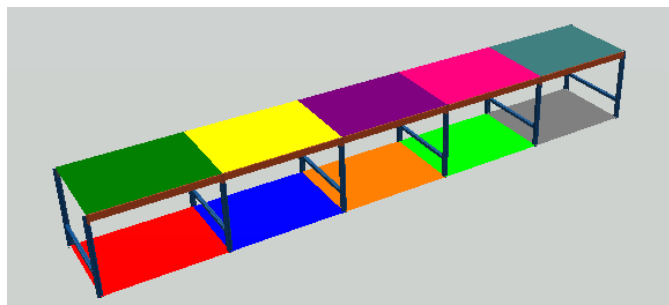


Figura 4.14: Paint Slot Labels nei Rack

4.6.4 Impostazioni attesa

Per rappresentare l'attesa è stato utilizzato un *Processor* con un *Process Time* pari a 30 minuti per tutti i prodotti. Per differenziarlo dagli altri *Processor* si è deciso di visualizzarlo come un elemento *Queue*.

4.6.5 Impostazioni operatori

Per rappresentare la movimentazione e il processo dei prodotti sono stati inclusi nella simulazione gli operatori. Ognuno di questi è stato collegato attraverso *Connect Center Ports* al proprio *Processor* e al relativo *Rack* di input, in modo tale che tutti gli operatori facenti parte di un dato reparto possano prelevare il prodotto dal *Rack* dello stesso e successivamente lavorarlo sulla macchina assegnata.

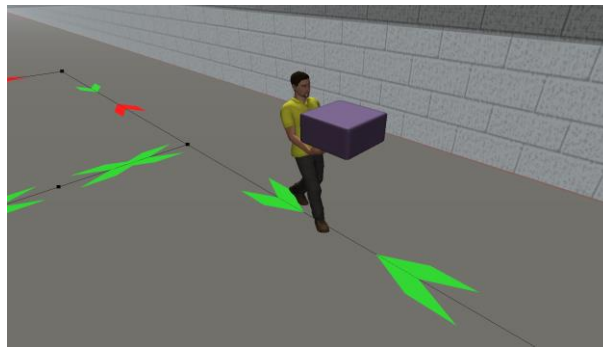


Figura 4.15: Trasporto tramite Operatore

Per fare ciò sono stati inseriti i seguenti comandi:

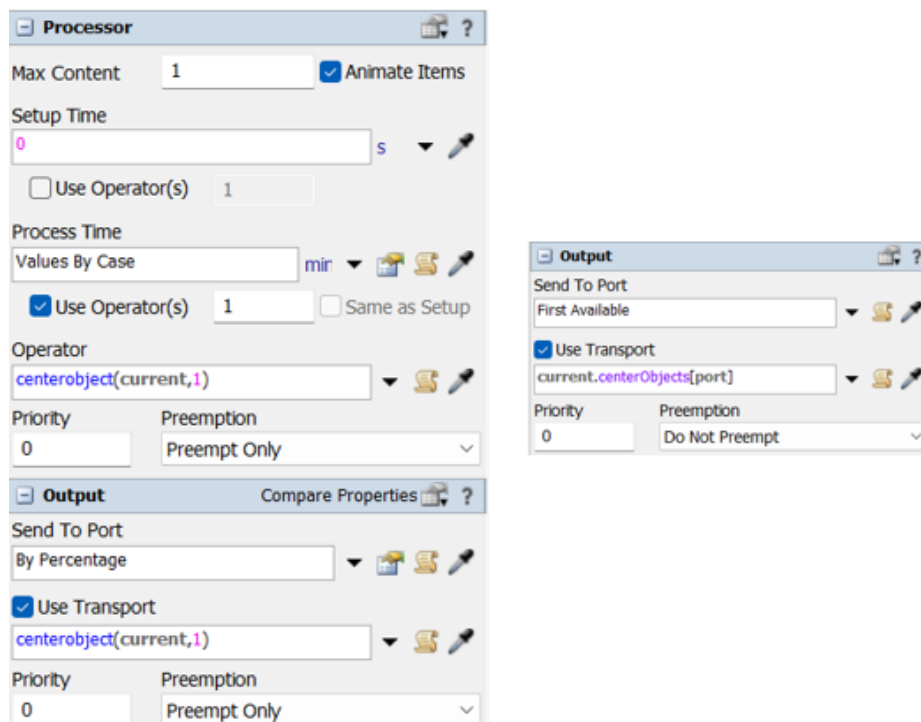


Figura 4.16: Set Up Operator

Gli operatori si muovono all'interno dell'azienda seguendo un percorso stabilito attraverso *NetworkNode*, come possibile osservare nella Figura 4.15.

Quando la mansione degli operatori è terminata, essi ritornano ad un punto del network stabilito, solitamente vicino al *Rack* di input in modo tale da essere pronti all'arrivo del semilavorato successivo, rendendo la simulazione più fedele alla realtà. Per implementare questa funzione sono stati eseguiti i seguenti passaggi (visualizzabili in Figura 4.17):

Triggers → *On Resource Available* → *Travel to a Home Location*

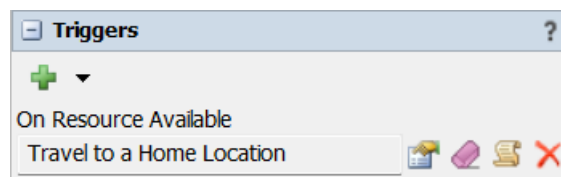


Figura 4.17: Travel Home Location

4.6.6 Impostazioni Combiner

I *Combiner* sono programmati in modo tale da assemblare ad uno ad uno semilavorati e cavi elettrici. Sono stati utilizzati nel reparto dedicato al cablaggio.

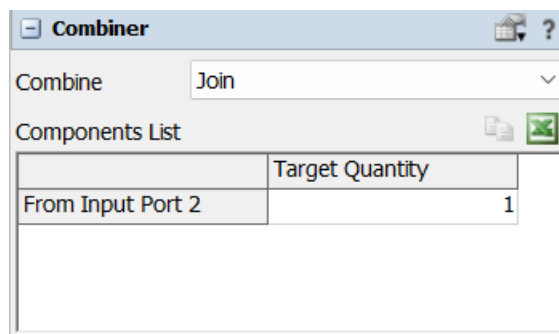


Figura 4.18: Set Up Combiner

4.7 Risultati primo layout

Di seguito la rappresentazione sul software di simulazione della prima proposta di layout precedentemente illustrata, a seguito dell'applicazione del metodo CRAFT:

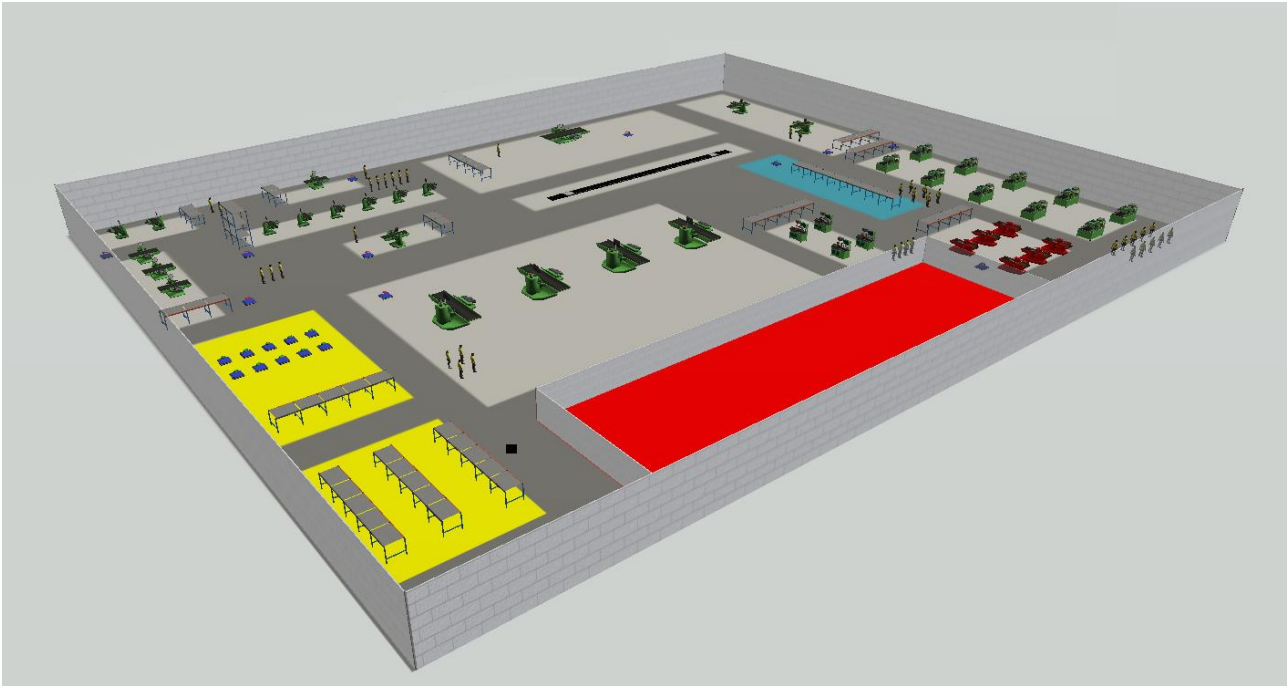


Figura 4.19: Primo layout su FlexSim

Si riportano inoltre i coefficienti di utilizzo teorici U_t calcolati Obdal simulatore. In particolare si è deciso di prendere come riferimento i valori risultanti dopo aver simulato una intera settimana lavorativa, cioè cinque giornate di lavoro con turni da otto ore al giorno.

I valori non sono molto vicini ai risultati teorici calcolati durante la fase di dimensionamento preliminare.



Figura 4.20: Ut Taglio 1

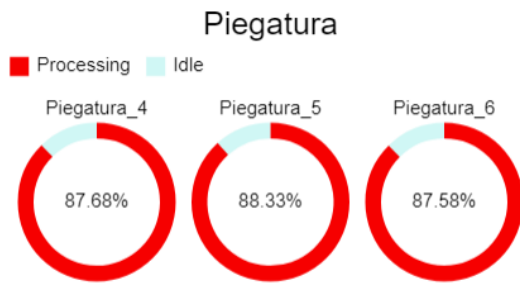


Figura 4.21: Ut Piegatura 1

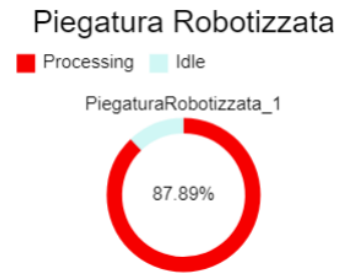


Figura 4.22: Ut Piegatura Robotizzata 1

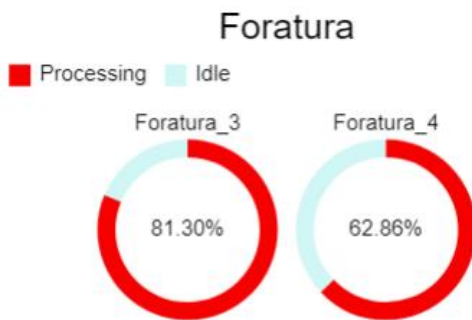


Figura 4.23: Ut Foratura 1

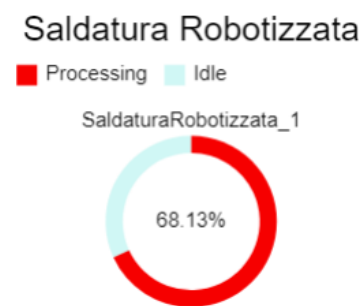


Figura 4.24: Ut Saldatura Robotizzata 1

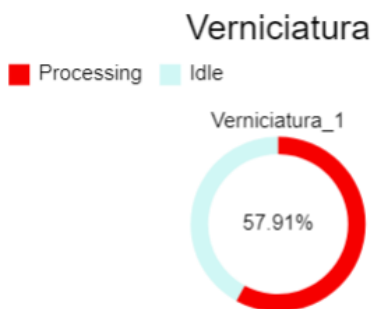


Figura 4.25: Ut Verniciatura 1

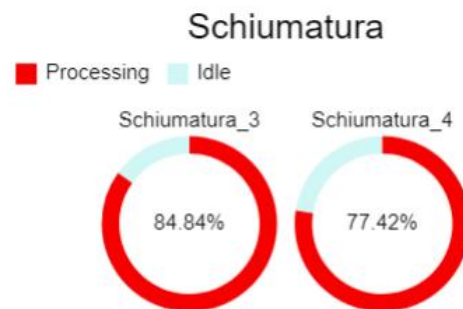


Figura 4.26: Ut Schiumatura 1

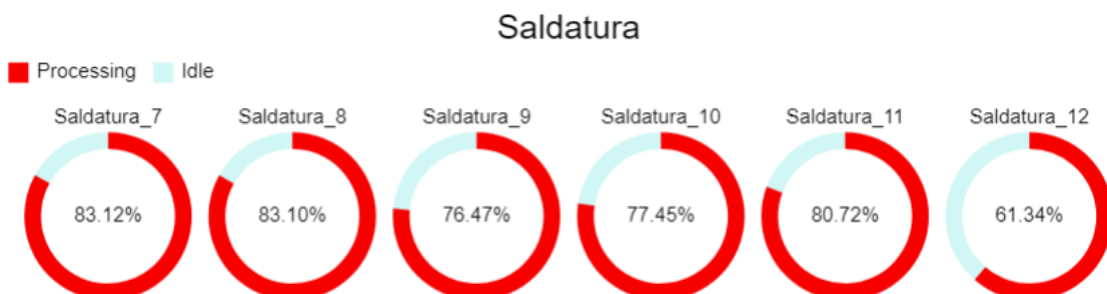


Figura 4.27: Ut Saldatura 1

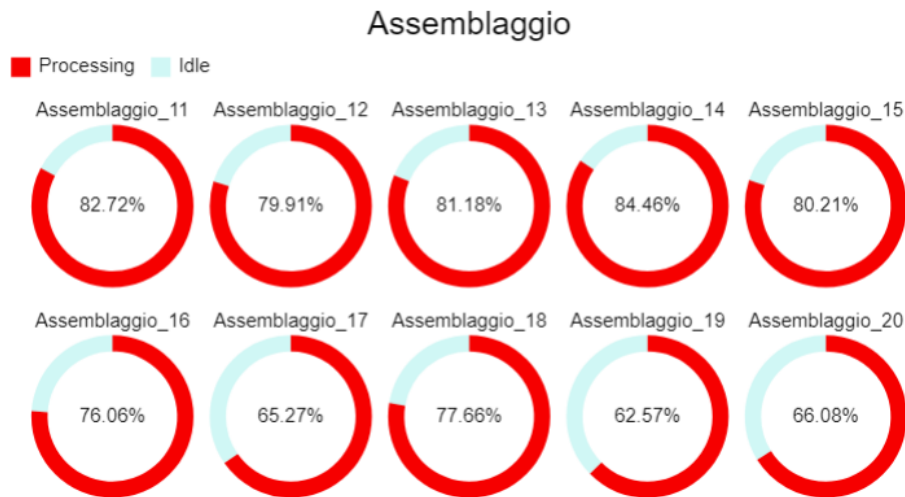


Figura 4.28: Ut Assemblaggio 1

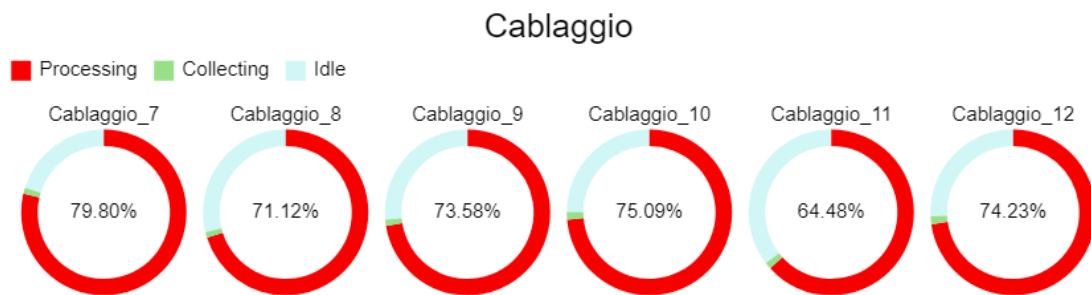


Figura 4.29: Ut Cablaggio 1



Figura 4.30: Ut Imballaggio 1

Si è scelto di omettere i coefficienti di utilizzo reali U_r , poiché includendo il coefficiente di dimensionamento K_4 il simulatore considera come fermo-macchina anche i periodi in cui l'impianto non lavora, cioè tutti gli intervalli di tempo che non vengono coperti dall'orario di lavoro (dalle 8:00 alle 16:00). Di conseguenza i risultati si sarebbero allontanati eccessivamente dai valori attesi, non rispecchiando ciò che avviene realmente.

4.8 Risultati secondo layout

Di seguito si riporta la rappresentazione su Flexsim del layout finale proposto per l'azienda, a seguito della seconda applicazione del metodo CRAFT precedentemente illustrata:

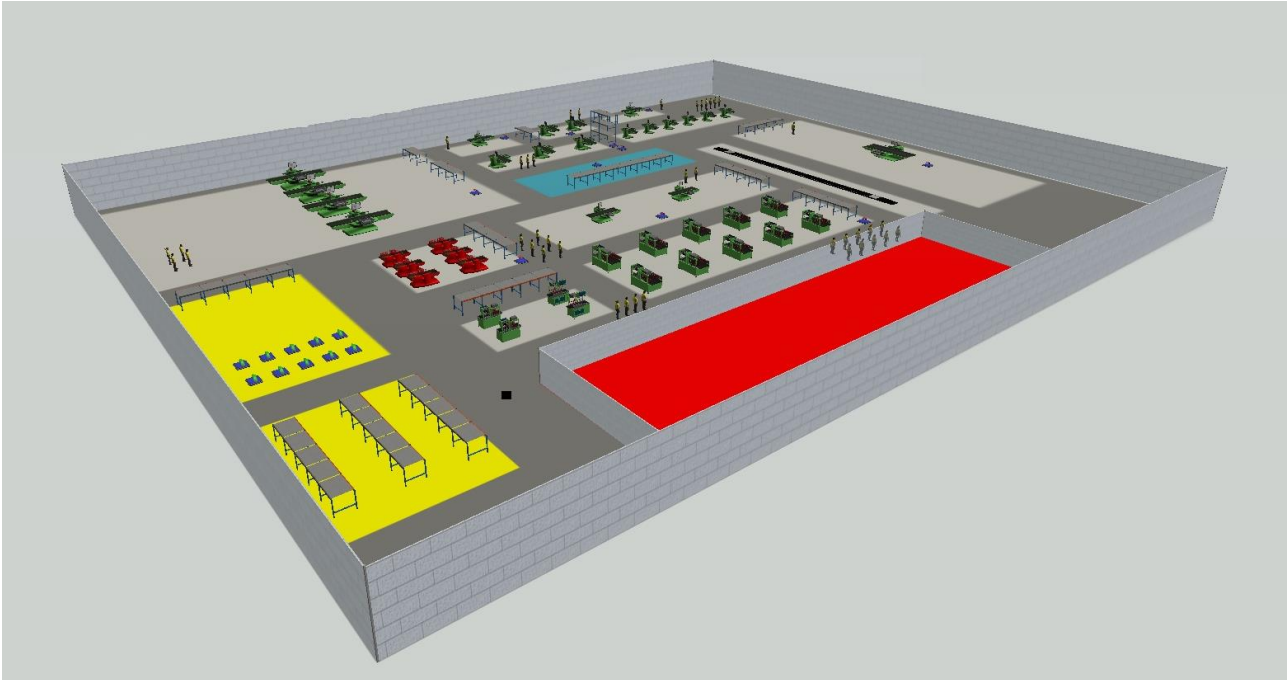


Figura 4.31: Secondo layout su FlexSim

Si riportano anche in questo secondo caso i valori dei coefficienti teorici di utilizzo dell'impianto. Si può notare che i risultati ottenuti sono più vicini rispetto al caso precedente ai valori ottenuti a seguito del dimensionamento preliminare.

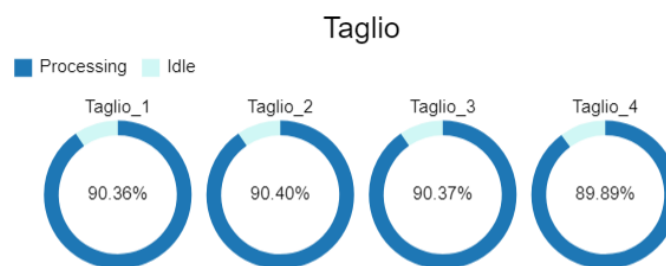


Figura 4.32: Ut taglio 2

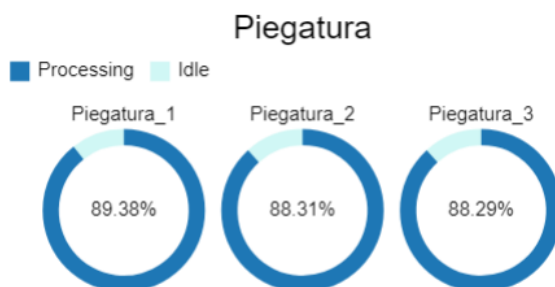


Figura 4.33: Ut Piegatura 2

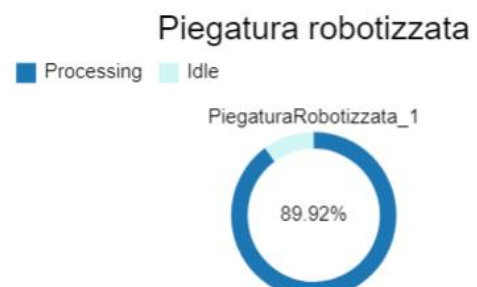


Figura 4.34: Ut Piegatura Robotizzata 2

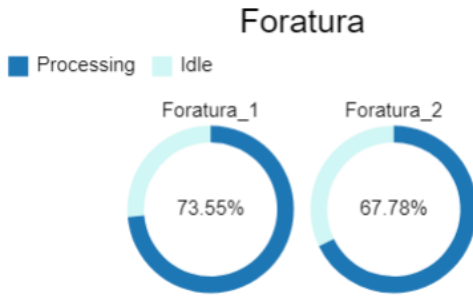


Figura 4.35: Ut Foratura 2

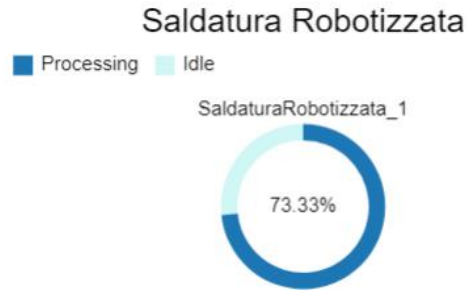


Figura 4.36: Ut Saldatura Robotizzata 2

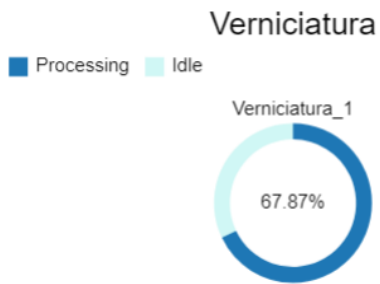


Figura 4.37: Ut Verniciatura 2

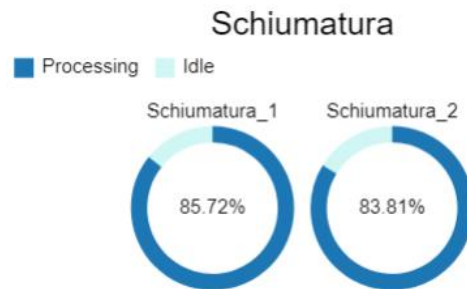


Figura 4.38: Ut Schiumatura 2

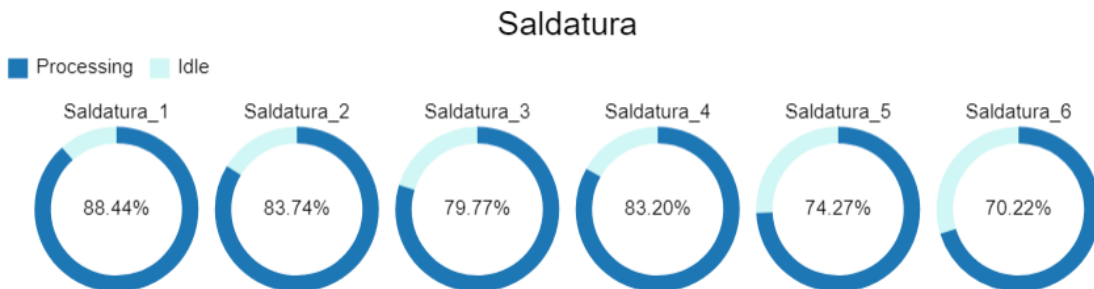


Figura 4.39: Ut Saldatura 2

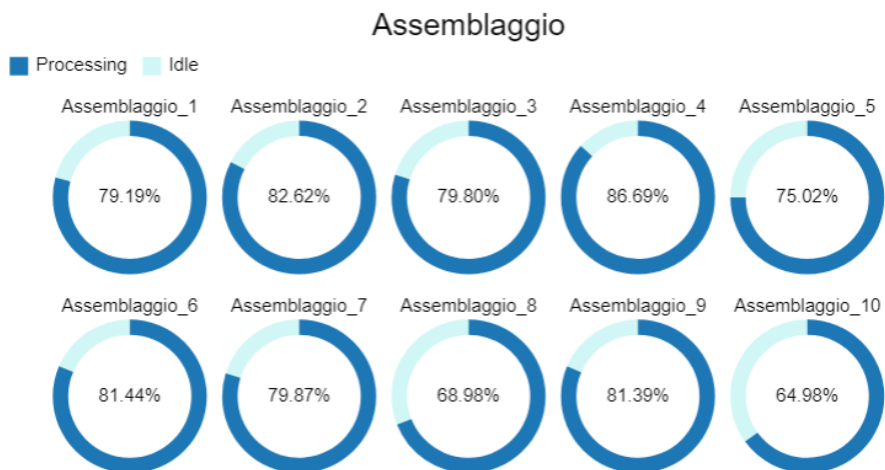


Figura 4.40: Ut Assemblaggio 2

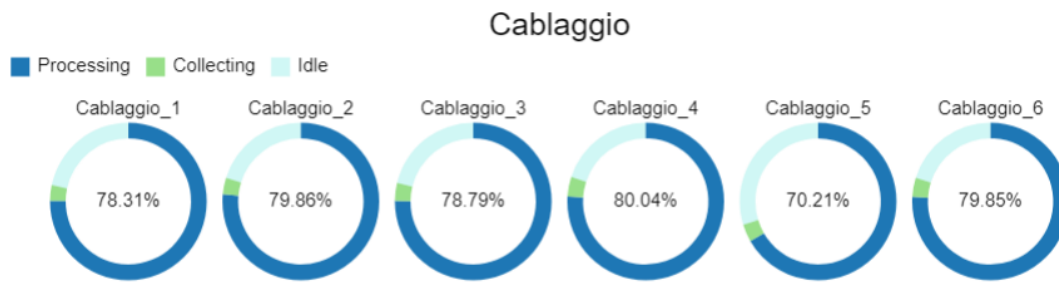


Figura 4.41: Ut Cablaggio 2

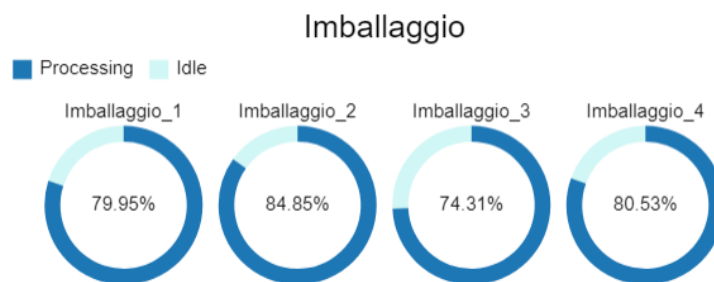


Figura 4.42: Ut Imballaggio 2

4.9 Confronto risultati

I seguenti grafici mettono in evidenza le differenze emerse durante la simulazione dei due layout proposti, permettendo di visualizzare un confronto chiaro tra i coefficienti di utilizzo teorici precedentemente esposti.

Il layout scelto come disposizione finale dei reparti e dei macchinari all'interno del capannone si conferma essere la scelta migliore per due motivazioni:

- I risultati sono più fedeli ai calcoli teorici svolti inizialmente.
- I macchinari presentano un coefficiente di utilizzo teorico medio più elevato. E poiché il K_4 assume lo stesso valore per ogni macchinario, si può affermare lo stesso anche per i coefficienti di utilizzo reali.

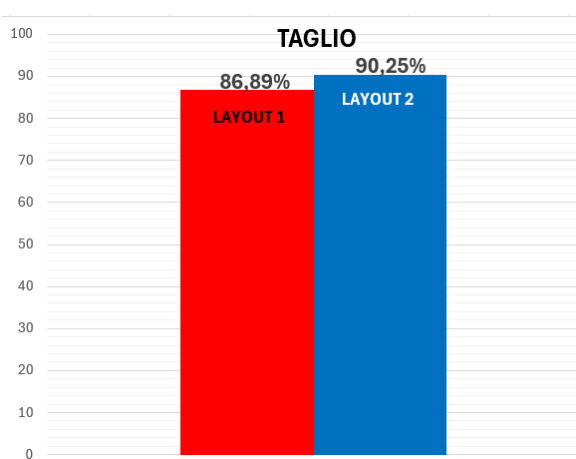


Figura 4.43: Confronto U_t TA

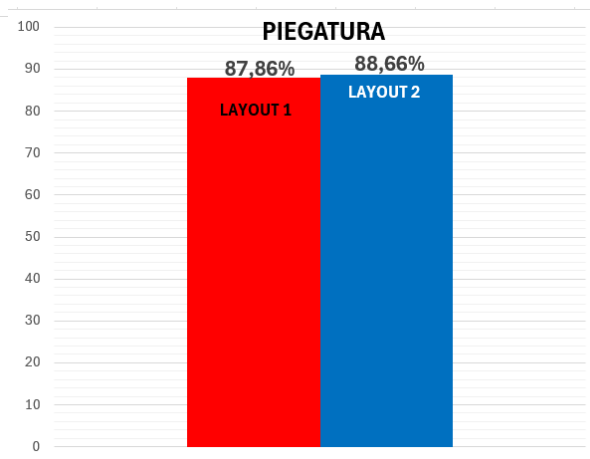


Figura 4.44: Confronto U_t PI

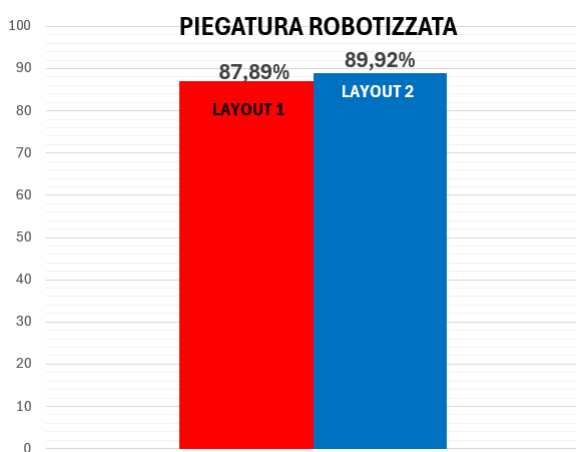


Figura 4.45: Confronto U_t PR

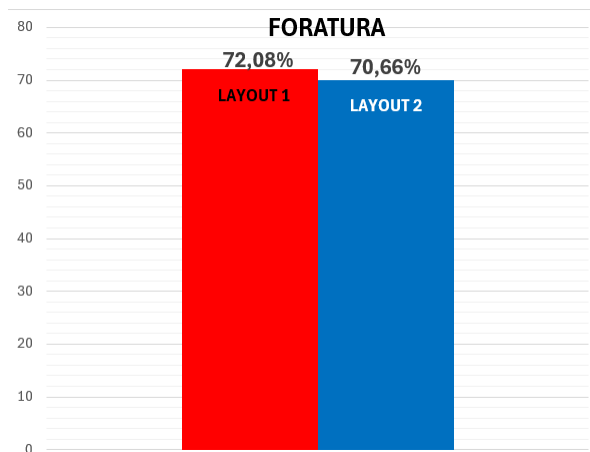


Figura 4.46: Confronto U_t FO

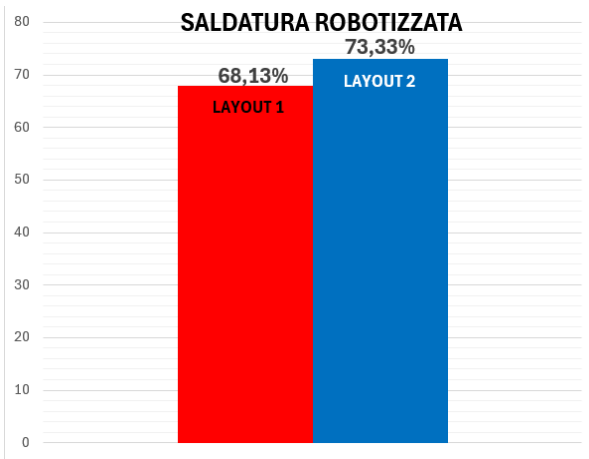


Figura 4.47: Confronto U_t SR

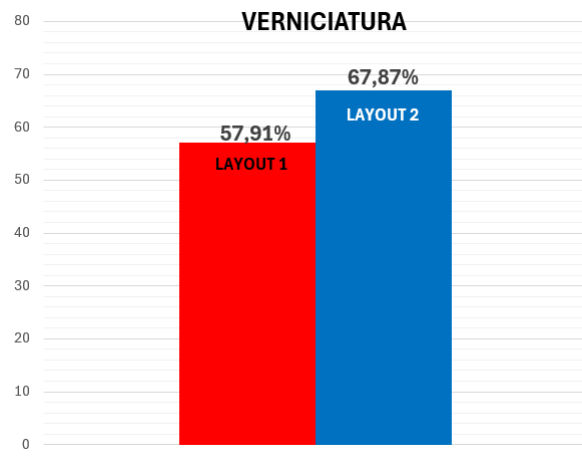


Figura 4.48: Confronto U_t VE

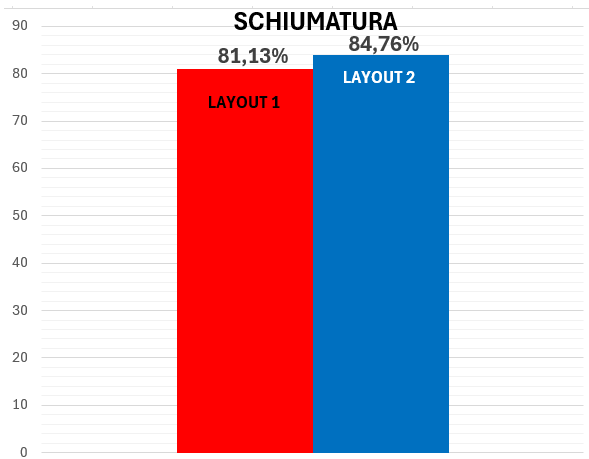


Figura 4.49: Confronto U_t SC

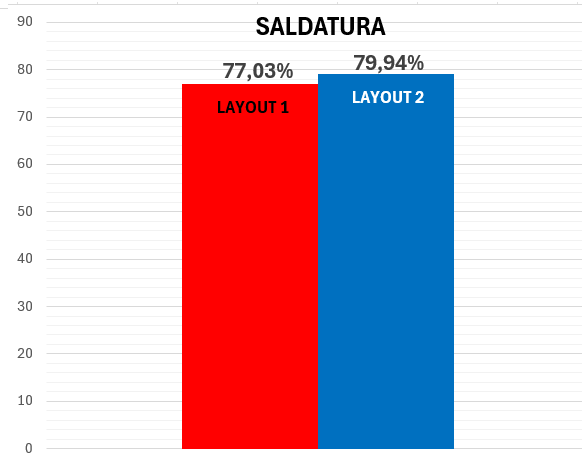


Figura 4.50: Confronto U_t SA

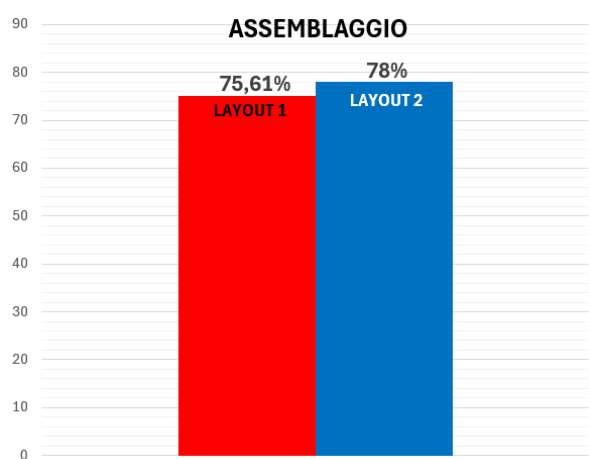


Figura 4.51: Confronto U_t AS

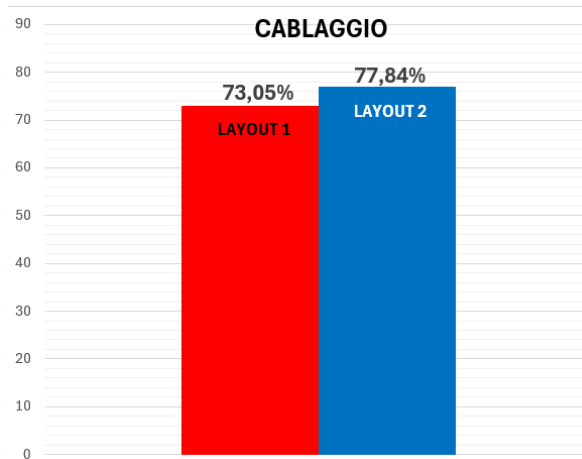


Figura 4.52: Confronto U_t CA

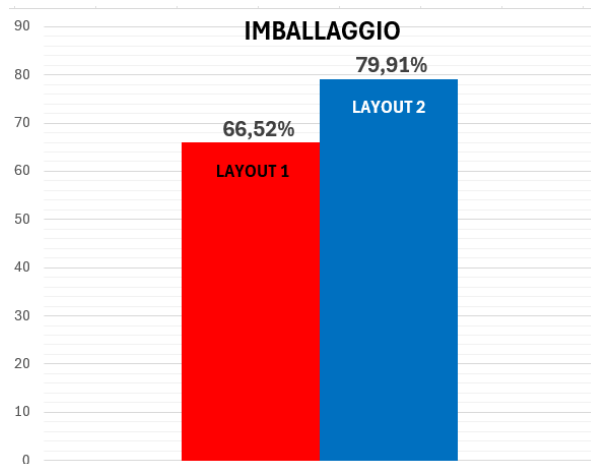


Figura 4.53: Confronto U_t IM

Le differenze tra i valori sono dovute alla disposizione dei reparti. Se i macchinari sono più distanti, l'operatore dovrà eseguire movimentazioni maggiori, che comporteranno una diminuzione dell'utilizzo del macchinario, poiché resterà in attesa per un tempo superiore.

Capitolo 5- Conclusioni

L'obiettivo dell'elaborato consiste nel dimensionare un impianto di un'azienda produttrice di quadri elettrici, ottimizzando il layout in funzione della riduzione dei costi di movimentazione delle materie prime e dei semilavorati all'interno dei reparti. Successivamente è stata condotta un'analisi dei risultati mediante il software di simulazione Flexsim.

È stata svolta un'analisi approfondita, che ha seguito l'intero processo, dalla fase di dimensionamento dei reparti fino all'ottimizzazione del layout, al fine di garantire una soluzione efficiente e funzionale.

Si riportano alcune problematiche sorte durante lo sviluppo delle diverse fasi del progetto.

Essendo il CRAFT un algoritmo migliorativo, in cui la proposta finale è fortemente influenzata da quella di partenza, con il primo layout il risparmio economico si è rivelato essere irrisorio; inoltre, si deve sottolineare che la prima soluzione proposta rappresenta un tentativo iniziale, poiché, in assenza di questa impostazione, sarebbe stato necessario ricorrere a un algoritmo costruttivo.

La soluzione adottata è stata quella di applicare nuovamente l'algoritmo a partire da un nuovo layout più funzionale, grazie al quale il costo complessivo di movimentazione interna ha consentito di aggiudicarsi un risparmio monetario significativo e soddisfacente.

Individuato il layout definitivo, sono sorte due problematiche durante la simulazione del ciclo tecnologico dei prodotti. La prima di queste è legata all'impossibilità di includere nei tempi di lavorazione dei macchinari i coefficienti di dimensionamento direttamente dalle proprietà dei *processor* stessi; la seconda conduce a un numero di prodotti finiti al termine della giornata lavorativa inferiore rispetto alla quantità attesa.

Per ovviare a tali criticità si è scelto di rappresentare i K_1 attraverso dei *Sink* impostando una percentuale scarto adeguata, e i K_i con $i = 2,3,4$ configurando appropriatamente i *mean time between failures* e i *mean time to repair*, al fine di offrire una simulazione accurata; e, finalmente, i buffer antecedenti al reparto del taglio sono stati inizializzati con un riempimento parziale per garantire un corretto numero di prodotti finiti realizzati al termine del turno giornaliero.

Al termine delle considerazioni e delle analisi condotte nell'elaborato, si può concludere che il dimensionamento effettuato consente di raggiungere coefficienti di utilizzo perfettamente in linea con i risultati attesi per un impianto in Zona II.

I costi di movimentazione interna, invece, sarebbero potuti risultare inferiori con l'impiego di un capannone di dimensioni ridotte, in cui i macchinari e i reparti avrebbero ricoperto ugualmente una

superficie sufficiente per garantire il rispetto per le norme di sicurezza e un adeguato spazio di manovra per spostamenti e lavorazioni.

Lo spazio rimasto è stato destinato ad uffici e servizi igienici, migliorando la funzionalità complessiva della struttura.

Una seconda scelta di gestione degli spazi potrebbe riguardare una futura espansione aziendale rafforzando i reparti già esistenti o aumentando il numero di macchinari.

Indice delle Figure:

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Diagramma PQ..... | 9 |
| Figura 1.2: Linea di Imbottigliamento Cantina 4.0..... | 10 |
| Figura 1.3: Produzione per reparti..... | 11 |
| Figura 1.4: Layout a celle..... | 13 |
| Figura 1.5: Produzione a postazione fissa..... | 14 |
| Figura 1.6: Esempio studio layout livello Macroscopico..... | 16 |
| Figura 1.7: Relationship Chart..... | 17 |
| Figura 2.1: Stato di funzionamento/guasto..... | 23 |
| Figura 3.1: Prima proposta..... | 32 |
| Figura 3.2: Flussi logistici della prima proposta..... | 33 |
| Figura 3.3: Prima proposta migliorata..... | 35 |
| Figura 3.4: Flussi logistici della prima proposta migliorata..... | 35 |
| Figura 3.5: Seconda proposta..... | 37 |
| Figura 3.6: Flussi logistici della seconda proposta..... | 38 |
| Figura 3.7: Seconda proposta migliorata..... | 40 |
| Figura 3.8: Flussi logistici della seconda proposta migliorata..... | 40 |
| Figura 3.9: Andamento dei costi nelle diverse proposte di layout..... | 42 |
| Figura 3.10: Risparmio dei costi nel layout finale rispetto alla proposta iniziale..... | 42 |
| Figura 4.1: Source..... | 43 |
| Figura 4.2: Processor..... | 44 |
| Figura 4.3: Combiner..... | 44 |
| Figura 4.4: Sink..... | 44 |
| Figura 4.5: Operatore..... | 45 |
| Figura 4.6: Network Node..... | 45 |
| Figura 4.7: Rack..... | 45 |
| Figura 4.8: Legenda reparti..... | 46 |
| Figura 4.9: Proprietà Prodotto_A (FlexSim)..... | 46 |
| Figura 4.10: Processor Prodotto_A..... | 47 |
| Figura 4.11: Values By Case..... | 47 |
| Figura 4.12: Codice Output..... | 48 |
| Figura 4.13: MTBF/MTTR Taglio..... | 49 |
| Figura 4.14: Paint Slot Labels nei Rack..... | 49 |
| Figura 4.15: Trasporto tramite Operatore..... | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.16: Set Up Operatori..... | 50 |
| Figura 4.17: Travel Home Location..... | 51 |
| Figura 4.18: Set Up Combiner..... | 51 |
| Figura 4.19: Primo layout su FlexSim..... | 52 |
| Figura 4.20: Ut Taglio 1..... | 52 |
| Figura 4.21: Ut Piegatura 1..... | 53 |
| Figura 4.22: Ut Piegatura Robotizzata 1..... | 53 |
| Figura 4.23: Ut Foratura 1..... | 53 |
| Figura 4.24: Ut Saldatura Robotizzata 1..... | 53 |
| Figura 4.25: Ut Verniciatura 1..... | 53 |
| Figura 4.26: Ut Schiumatura 1..... | 53 |
| Figura 4.27: Ut Saldatura 1..... | 53 |
| Figura 4.28: Ut Assemblaggio 1..... | 54 |
| Figura 4.29: Ut Cablaggio 1..... | 54 |
| Figura 4.30: Ut Imballaggio 1..... | 54 |
| Figura 4.31: Secondo layout su FlexSim..... | 55 |
| Figura 4.32: Ut Taglio 2..... | 55 |
| Figura 4.33: Ut Piegatura 2..... | 55 |
| Figura 4.34: Ut Piegatura Robotizzata 2..... | 55 |
| Figura 4.35: Ut Foratura 2..... | 56 |
| Figura 4.36: Ut Saldatura Robotizzata 2..... | 56 |
| Figura 4.37: Ut Verniciatura 2..... | 56 |
| Figura 4.38: Ut Schiumatura 2..... | 56 |
| Figura 4.39: Ut Saldatura 2..... | 56 |
| Figura 4.40: Ut Assemblaggio 2..... | 56 |
| Figura 4.41: Ut Cablaggio 2..... | 57 |
| Figura 4.42: Ut Imballaggio 2..... | 57 |
| Figura 4.43: Confronto Ut TA..... | 58 |
| Figura 4.44: Confronto Ut PI..... | 58 |
| Figura 4.45: Confronto Ut PR..... | 58 |
| Figura 4.46: Confronto Ut FO..... | 58 |
| Figura 4.47: Confronto Ut SR..... | 59 |
| Figura 4.48: Confronto Ut VE..... | 59 |
| Figura 4.49: Confronto Ut SC..... | 59 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| Figura 4.50: Confronto Ut SA..... | 59 |
| Figura 4.51: Confronto Ut AS..... | 59 |
| Figura 4.52: Confronto Ut CA..... | 59 |
| Figura 4.53: Confronto Ut IM..... | 60 |

Sommario Tabelle:

| | |
|--|----|
| Tabella 2.1: Ciclo tecnologico e volumi giornalieri..... | 22 |
| Tabella 2.2: Coefficienti di dimensionamento..... | 24 |
| Tabella 2.3: Tempi di lavorazione..... | 24 |
| Tabella 2.4: Volumi per stadio produttivo..... | 26 |
| Tabella 2.5: Numero teorico di macchinari per prodotto..... | 27 |
| Tabella 2.6: Numero di macchinari per ogni reparto..... | 28 |
| Tabella 2.7: Coefficienti di utilizzo..... | 28 |
| Tabella 2.8: Tempi nominali di lavorazione di un operatore..... | 29 |
| Tabella 2.9: Operatori per processo..... | 29 |
| Tabella 2.10: Numero operatori per reparto..... | 30 |
| Tabella 3.1: From-To Chart..... | 31 |
| Tabella 3.2: From-To Chart distanze – primo layout..... | 33 |
| Tabella 3.3: From-To Chart costi – primo layout..... | 34 |
| Tabella 3.4: From-To Chart distanze – primo layout migliorato..... | 36 |
| Tabella 3.5: From-To Chart costi – primo layout migliorato..... | 36 |
| Tabella 3.6: From-To Chart distanze – secondo layout..... | 38 |
| Tabella 3.7: From-To Chart costi – secondo layout..... | 39 |
| Tabella 3.8: From-To Chart distanze – secondo layout migliorato..... | 41 |
| Tabella 3.9: From-To Chart costi – secondo layout migliorato..... | 41 |

Sigle usate:

MTS: Make to stock

ATO: Assembly to order

MTO: Make to order

ETO: Engineering to order

WIP: Work in Progress

ALDEP: Automated Layout Design Program

CORELAP: Computerized Relationship Layout Planning

CRAFT: Computerized Relative Allocation of Facilities Technique

MTBF: mean time between failures

MTTR: mean time to repair

Bibliografia

- Ilenia Zennaro, 2023/2024, appunti e slide del Corso di Impianti Meccanici, UNIPD
- Impianti industriali, criteri di scelta, progettazione e realizzazione, A. Pareschi, 2013
- <https://www.smeup.com/magazine/blog/gestione-del-lavoro-su-commessa/#:~:text=A%20differenza%20della%20produzione%20in,gestione%20simultanea%20di%20diverse%20commesse.>
- <https://perlapp.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/10/il-sistema-di-produzione.pdf>
- <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/takt-time.html>
- <https://www.flengineering.it/layout-impianti-industriali/>
- <https://esain.com/2024/05/layout-impianti-industriali-cosa-e-come-progettarlo/>
- <https://www.flexsim.com/>

Bibliografia foto:

- Figura 1.1: https://stem.elearning.unipd.it/pluginfile.php/969443/mod_resource/content/0/5_IMPINDAUT_2024_Tipologie%20di%20Produzione%20e%20diagramma%20PQ.pdf
- Figura 1.2: <https://www.cantina40.it/imbottigliamento-4-0/>
- Figura 1.3: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128621001031>
- Figura 1.4: <https://www.inartifexyou.com/Flexible-manufacturing-systems.html>
- Figura 1.5: <https://www.fincantieri.com/it/>
- Figura 1.6: <https://www.stelladesign.eu/consulenza/zoning/>