

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale percorso Produzione**

Tesi di Laurea Magistrale

**Applicazione dei metodi *lean* per la
standardizzazione produttiva di celle
frigorifere**



Relatore accademico:

Prof. Paolo Chiabert

Relatore aziendale:

Tiziano Ponsetti

Candidato

Marco Badarello

Ottobre 2021

INDICE

1	INTRODUZIONE	10
1.1	PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA OSPITANTE.....	10
1.2	OBIETTIVO DELLA TESI	12
1.3	PREFAZIONE	12
2	ANALISI PRODUTTIVA AZIENDALE	15
3	ANALISI DELLA LAVORAZIONE A PUNTO FISSO	22
4	DATABASE AD HOC PER LA SIMULAZIONE DEI TEMPI E DEL MOVIMENTO DELL'OPERATORE.....	35
4.1	STUDI PRECEDENTI.....	35
4.2	DATABASE AD HOC	37
5	OTTIMIZZAZIONE DELLA POSTAZIONE DI LAVORO.....	60
5.1	RISULTATI	69
5.2	EFFETTI SUL PRODOTTO SINGOLO	82
6	SISTEMA INFORMATIVO	87
6.1	SISTEMA MANAGERIALE DI CREAZIONE VIRTUALE.....	91
6.2	STANDARD WORK DIGITALE	100
6.2	APPLICAZIONE CON CODICE A BARRE.....	102
6.3	APPLICAZIONE CON QR CODE	109
7	CONCLUSIONE	112
8	APPLICAZIONI ESTERNE UTILIZZATE	113
9	SITOGRAFIA	114

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.1 - Storia dell'azienda ospitante	10
Figura 2.1 - Visual Stream Map.....	16
Figura 2.2 - Simbolo azienda VSM	17
Figura 2.3 - Simbolo processo VSM.....	17
Figura 2.4 - Simbolo magazzino VSM	17
Figura 2.5 - Simbolo push VSM	17
Figura 2.6 - Simbolo flusso materiale con terzi VSM	17
Figura 2.7 - Simbolo flusso informativo VSM	18
Figura 2.8 - Simbolo operatore VSM	18
Figura 3.1 - Cella frigorifera all'arrivo in postazione	23
Figura 3.2 - Diagramma delle precedenze	26
Figura 3.3 - Posizione della cella durante le operazioni	28
Figura 3.4 - Albero di processo.....	29
Figura 3.5 - Diagramma dei percorsi del processo produttivo.....	33
Figura 4.1 - Diagramma a dispersione con i valori temporali (s) delle operazioni.....	42
Figura 4.2 - Layout aziendale di interesse per la lavorazione.....	44
Figura 4.3 - Posizioni standard dei prodotti da assemblare sulla cella	46
Figura 4.4 - Posizioni standard dei prodotti da assemblare sul camion.....	47
Figura 5.1 - Tabella pivot per la determinazione della gerarchia di posizionamento dei prodotti e degli strumenti.....	61
Figura 5.2 - Rappresentazione della progettazione dei vani sui carrelli	63
Figura 5.3 - Distanze tra la posizione iniziale successiva e precedente allo studio dei prodotti e degli strumenti.....	67
Figura 5.4 - Scostamenti delle distanze dalla posizione iniziale al baricentro d'azione dei prodotti e strumenti prima e dopo la ricollocazione (Valori più significativi).....	68
Figura 5.5 - Scostamenti delle distanze in m dalla posizione iniziale al baricentro d'azione dei prodotti e strumenti prima e dopo la ricollocazione	69
Figura 5.6 - Percentuale delle operazioni presenti nei range ergonomici	71
Figura 5.7 - Rappresentazione dell'indice di riposo per ogni fase	72
Figura 5.8 - Scostamenti degli indici ergonomici dinamici causati dal ricollocamento del materiale	73
Figura 5.9 - Distribuzione normale dei degli indici ergonomici delle operazioni	74

Figura 5.10 - Scostamenti dei valori temporali (s) causati dal ricollocamento del materiale.....	76
Figura 5.11 - Distribuzione normale dei valori temporali delle operazioni.....	77
Figura 5.12 - Rappresentazione nel layout dei baricentri di fasi prima e dopo lo studio	79
Figura 5.13 - Scostamenti dei valori temporali di spostamento dell'operatore causati dal ricollocamento del materiale.....	80
Figura 5.14 - Distribuzione normale delle distanze percorse dall'operatore durante le operazioni...	81
Figura 5.15 - Individuazione dei percorsi necessaria per la creazione della cella frigorifera "media"	83
Figura 6.1 - UML Activity Diagram.....	88
Figura 6.2 - Casi d'uso	90
Figura 6.3 - Finestra di inserimento dati per la creazione della cella frigorifera caratteristica virtuale	92
Figura 6.4 - Esempio combobox relativo alla modalità di spedizione.....	93
Figura 6.5 - Esempio di inserimento dati nella finestra di creazione della cella virtuale caratteristica	95
Figura 6.6 - Differenze tra i valori dell'esempio e della cella "media"	96
Figura 6.7 - Spaghetti chart virtuale.....	97
Figura 6.8 - Diagramma a bolle raffigurante i tempi delle operazioni statiche nel layout	98
Figura 6.9 - Diagramma a bolle raffigurante i tempi delle operazioni statiche compiute sul camion e sulla cella.....	99
Figura 6.10 - Metodo di attribuzione valore alle fasi per la creazione della stringa nel codice a barre	103
Figura 6.11 - Codice a barre della sequenza caratteristica.....	104
Figura 6.12 - Posizionamento laser in azienda	105
Figura 6.13 - Prima diapositiva nello standard work ad attivazione con codice a barre	107
Figura 6.14 - QR code della cella presa in esempio.....	110
Figura 6.15 - Esempio di standard work attivato da QR code	111

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 2.1 - Domanda clienti.....	19
Tabella 2.2 - Tempo giacenza buffer	20
Tabella 2.3 - Lead time prodotti finiti.....	20
Tabella 3.1 - Elenco fasi di lavorazione.....	24
Tabella 3.2 - Matrice delle precedenze	27
Tabella 3.3 - Probabilità di accadimento teorica delle fasi	30
Tabella 3.4 - Tabella della verità delle fasi intermedie.....	31
Tabella 3.5 - Tabella della verità per la conclusione del processo	32
Tabella 4.1 - Tempi delle operazioni statiche cronometrate	41
Tabella 4.2 - Caratteristiche variabili delle celle frigorifere.....	43
Tabella 4.3 - Valori delle coordinate delle operazioni standard sulla cella frigorifera.....	48
Tabella 4.4 - Posizioni precedenti alla riallocazione materiale degli strumenti nel layout	49
Tabella 4.5 - Valori dell'indice di peso	50
Tabella 4.6 - Valore dell'indice di presa	50
Tabella 4.7 - Valori degli indici secondari dell'indice di movimento per ogni prodotto	51
Tabella 4.8 - Modalità di analisi delle operazioni in funzione degli strumenti e prodotti (database ad hoc).....	53
Tabella 4.9 - Modalità di gestione dei movimenti dell'operatore (Database ad hoc)	55
Tabella 4.10 - Valori dell'indice posturale	57
Tabella 4.11 - Valori dell'indice di forza	57
Tabella 4.12 - Valori dell'indice di vibrazione.....	57
Tabella 4.13 - Calcolo dell'indice ergonomico statico.....	58
Tabella 4.14 - Valori dell'indice di distanza	58
Tabella 4.15 - Valori dell'indice di peso	59
Tabella 5.1 - Quantità di tempo speso nello spostamento rispetto a quello totale di lavorazione	60
Tabella 5.2 - Coordinate dei baricentri d'azione dei prodotti e degli strumenti.....	62
Tabella 5.3 - Indice di collocamento degli strumenti e dei prodotti	64
Tabella 5.4 - Distanza dai baricentri d'azione dei prodotti e strumenti alle possibili posizioni di collocamento	65
Tabella 5.5 - Caratteristiche di posizionamento del materiale.....	65
Tabella 5.6 - Determinazione delle posizioni iniziali successive allo studio.....	66
Tabella 5.7 - Conteggio delle azioni aventi indice ergonomico all'interno dei range.....	70

Tabella 5.8 - Valori della distribuzione normale ergonomica	74
Tabella 5.9 - Valori dei tempi riguardanti lo spostamento dell'operatore per ogni fase	75
Tabella 5.10 - Valori della distribuzione normale temporale	77
Tabella 5.11 - Analisi degli scostamenti delle distanze dai baricentri delle fasi al centro della cella	78
Tabella 5.12 - Valori della distribuzione normale delle distanze	81
Tabella 5.13 - Metodo utilizzato per il calcolo dei fattori ergonomici, temporali e di distanza della cella "media"	84
Tabella 5.14 - Risultati dei fattori principali di produzione della cella "media" prima e dopo lo studio	85
Tabella 5.15 - Risparmio produttivo generato dall'applicazione dello studio di ricollocazione.....	86
Tabella 6.1 - Tabella relativa alla modalità di spedizione per la creazione della combobox	93
Tabella 6.2 - Risultati dell'esempio della cella virtuale	95
Tabella 6.3 - Metodo di identificazione delle fasi attivate del processo di lavorazione	102
Tabella 6.4 - Identificazione delle fasi attivate nel processo nella sequenza temporale.....	103
Tabella 6.5 - Stringa della cella caratteristica dell'esempio	104
Tabella 6.6 - Metodo nella creazione della stringa presente nel QR code.....	109

INDICE DELLE EQUAZIONI

Equazione 4.1 - Equazione in funzione del tempo e dell'efficienza dell'operatore	36
Equazione 4.2 - Calcolo dell'efficienza normale	36
Equazione 4.3 - Calcolo del tempo di un'azione in funzione dell'efficienza dell'operatore.....	41
Equazione 4.4 - Calcolo dell'indice di movimento	51
Equazione 4.5 - Calcolo del tempo delle operazioni dinamiche.....	52
Equazione 4.6 - Calcolo dell'indice ergonomico dinamico	59
Equazione 4.7 - Calcolo dell'indice ergonomico	59
Equazione 5.1 - Calcolo dell'indice di riposo	71
Equazione 5.2 - Tempo guadagnato per ogni attività di spostamento	76

INDICE DEI CODICI VBA

Codice VBA 6.1 - Codice per la creazione del database relativo alla cella caratteristica	94
Codice VBA 6.2 - Codice di avvio dello standard work	106
Codice VBA 6.3 - Codice presente nel tasto dello standard work per passare dalla prima diapositiva alla successiva	108

1 INTRODUZIONE

1.1 PRESENTAZIONE DELL'AZIENDA OSPITANTE

Lo studio di tesi è stato effettuato all'interno della Franger s.r.l., azienda specializzata nella produzione di celle refrigeranti.

La storia dell'azienda è delineata dalla linea temporale seguente:



Figura 1.1 - Storia dell'azienda ospitante

- 1962, è stata fondata la Cofi Europe;
- 1982, Campese diventa CEO e direttore generale;
- 2012, viene acquisita la Framec Truck;
- 2015 e 2017, *milestone* importanti per la crescita nel mercato;
- 2017, viene acquisita la Mondial Framec;
- 2019, viene acquisito ITU Cooling Systems (Romania)
- 2021, diventa Franger s.r.l.

La Cofi Europe tratta lo sviluppo, la produzione e la vendita di celle eutettiche per il trasporto e la distribuzione di prodotti generalmente alimentari.

L'azienda offre al cliente un prodotto customizzato per ogni missione e applicazione, disponendo di diverse soluzioni e compartimenti con diverse temperature.

Il turnover annuale è di 10 Milioni di euro e il mercato è suddiviso in:

- 40% vendite domestiche;
- 60% esportazioni, le quali sono il 70% in Europa e il 30% extra-UE.

Framec Truck tratta la stessa tipologia di prodotto con un turnover annuale di 8 Milioni di euro nel 2019 ed è presente maggiormente sul mercato europeo, in America Latina e in Oceania.

In generale, le celle frigorifere prodotte nelle due aziende possiedono le seguenti tecnologie di costruzione:

- Tecnologia di iniezione ad alta pressione;
- Incollaggio a caldo con colla bi-componente;
- Legame con la resina poliestere tramite pressione a caldo.

Le aziende diversificano la tecnologia di produzione per raggiungere la massima performance delle celle custom prodotte.

Invece la Mondial Framec, che è stata acquisita nel 2017, è specializzata nella produzione di freezer e strutture refrigeranti e il suo turnover annuale nel 2019 è stato di 12 Milioni di euro.

Ognuna di queste aziende che formano la Franger s.r.l. hanno un credo comune: la sensibilità alla sostenibilità ambientale.

Sono state implementate strategie importanti per il risparmio di energia e per la riduzione delle emissioni:

- ✓ Le celle Cofi non possiedono nessun trasformatore con resistenze elettriche nel lato delle porte, diversamente di quelle dei competitor italiani;
- ✓ L'uso di gas refrigerato senza CFC (gas dannoso per lo strato d'ozono);
- ✓ L'installazione di un grande sistema fotovoltaico per fornire le linee di produzione di energia;
- ✓ L'uso di compattatori per il poliuretano per ridurre il volume di rifiuti;
- ✓ Minore consumo di energia tramite luci a LED.

Inoltre, un altro aspetto molto significativo per questa realtà è la sicurezza e il benessere degli operatori. Per esempio, si è installato un sistema di aspirazione per l'area dei pannelli abrasivi rendendo l'ambiente di lavoro più sicuro e pulito.

1.2 OBIETTIVO DELLA TESI

L'obiettivo dell'azienda ospitante per la tesi svolta è quello di compiere un'analisi dettagliata della *work station* adibita all'assemblaggio finale della cella sul carroponte applicando le regole di *lean production* per eliminare i *muda* (termine giapponese che definisce gli sprechi) presenti.

Questo bisogno è presente poiché la lavorazione in questione crea un collo di bottiglia nel processo produttivo, influenzando sulla produttività e sul *lead time*.

Il carroponte, presente nella stazione di lavoro, è necessario per la maggior parte delle operazioni compiute ed è anche un vincolo di quantità e di spazio poiché limita la quantità di celle lavorabili in contemporanea.

Questa tesi non tratta della sostituzione del vincolo ma studia metodi innovativi ed alternativi per aumentare la produttività secondo le regole *lean*, utilizzando fogli di calcolo Excel e sistemi informativi ausiliari creati ad hoc.

1.3 PREFAZIONE

La tesi "Applicazione dei metodi *lean* per la standardizzazione produttiva di celle frigorifere" è un elaborato di tipo sperimentale che tratta l'applicazione di metodi innovativi e tecnologici, seguendo le regole di *lean production*. Questi studi hanno come scopo l'eliminazione della gran parte dei *muda* presenti nella postazione tramite la standardizzazione del prodotto e dei processi.

Lo studio è iniziato con l'osservazione e l'analisi dei tempi ciclo delle lavorazioni presenti nel processo produttivo, dopodiché si è visualizzato il flusso generale dell'intera produzione trovando la causa del rallentamento operativo, che in questo caso risultava essere la postazione di sollevamento al carroponte.

Una volta individuata la criticità presente all'interno della produzione aziendale, si è iniziato con l'analisi della seguente lavorazione: è stata suddivisa in fasi, spaccettata ulteriormente in attività, secondo la diversità delle operazioni da compiere e da queste, tramite alcuni metodi utilizzati sia nel campo dei sistemi produttivi che nel settore della gestione dei progetti, sono state individuate le precedenze tecniche e logiche presenti nel processo.

Nel quarto capitolo ci si è soffermati sull'analisi dei tempi e del movimento dell'operatore all'interno della postazione di lavorazione, creando una mappatura dello spostamento compiuto dalla risorsa e dagli strumenti, nell'arco temporale di un tempo ciclo.

Questo è stato possibile grazie alla creazione di un metodo ad hoc di analisi di processo che ha consentito di visualizzare alcuni indici temporali, ergonomici e spaziali per ogni singola operazione, fase o tempo ciclo.

Tra i KPI individuati ci si è soffermati a lungo durante lo studio, anche per la volontà dell'azienda stessa, sull'indice ergonomico generale che ha evidenziato quali fossero le attività più dannose a livello psicofisico che potessero generare infortuni per l'operatore.

L'obiettivo della prima parte è stata l'analisi delle operazioni compiute in postazione, tenendo conto delle condizioni al contorno e degli strumenti e prodotti necessari.

Dai dati rilevati sperimentalmente sono stati evidenziati quelli di spostamento dell'operatore che determinano una percentuale rilevante rispetto alle operazioni che creano valore aggiunto al prodotto finito. Questo spreco ha portato ad una riorganizzazione della *work station* con risultati migliorativi per quanto riguarda il tempo di lavorazione, l'ergonomia e la distanza compiuta dall'operatore durante il tempo ciclo.

Dato il processo, tenendo conto delle variabili presenti, sono stati quantificati i miglioramenti tramite indici quantitativi basati su scale create ad hoc. Questi sono stati calcolati per l'intero processo e per ogni fase o attività specifica.

Inoltre, si è voluto anche evidenziare in generale il miglioramento relativo alla produttività di una singola cella che è stato possibile tramite l'individuazione di un prodotto "medio" calcolato tramite l'albero delle decisioni.

Durante l'osservazione visiva in officina, si è pensato di introdurre anche un sistema che potesse supportare l'operatore per l'intera lavorazione, fornendo informazioni specifiche sulla cella caratteristica da produrre e descrivendone le azioni a valore aggiunto da compiere. Si è trovata come soluzione l'inserimento di uno *standard work* all'interno della postazione di lavoro relativa.

La cella frigorifera, su cui lavora la risorsa, essendo personalizzabile dal cliente, è sempre diversa da quella precedente; quindi, uno *standard work* statico su carta non sarebbe stata la soluzione corretta. Si è deciso infatti di perseguire verso una comunicazione digitale che potesse essere flessibile nel tempo.

Questo è stato possibile tramite la creazione di un sistema informativo che consentisse di sapere quali caratteristiche e quindi le conseguenti operazioni da effettuare su ogni cella in produzione.

Il primo passo è stato creare un'interfaccia che desse la possibilità ai responsabili di produzione di inserire le caratteristiche di un nuovo prodotto per ottenere automaticamente la creazione della cella virtuale con i propri valori produttivi stimati. Questi sono stati calcolati grazie agli studi precedentemente svolti all'interno di una *dashboard*.

Tramite questo sistema, il responsabile di produzione può ottenere stime migliori della cella caratteristica e eseguire una migliore programmazione dei prodotti in officina.

Nei risultati relativi alla cella specifica, è presente anche una matrice di codice (*QR code* o codice a barre) rappresentativa delle caratteristiche del prodotto e delle fasi di lavorazione da compiere sotto il carroponte.

Con la creazione di quest'ultima è possibile trasferire i dati di ogni cella automaticamente dall'ufficio produzione all'officina migliorando il flusso informativo.

Infatti, il codice a barre e *QR* sono stati pensati come dei “contenitori” di informazioni relativi alla lavorazione caratteristica da compiere. Una volta scannerizzata la matrice presente sulla cella semifinita, il sistema riconosce il processo lavorativo puntuale e mette a disposizione dell'operatore tutte le indicazioni per completare l'assemblaggio della cella.

Negli studi presenti sono stati sia analizzati i processi informativi e scritti i codici in linguaggio VBA per il funzionamento corretto dei sistemi. Il processo di *standard work* è già stato testato e risulta essere funzionante.

2 ANALISI PRODUTTIVA AZIENDALE

Per questa tesi si sono adottati i metodi e le tecniche basate sui concetti di *lean production* che mirano ad aumentare il valore del prodotto venduto cercando di ridurre gli errori e i costi del processo produttivo.

In questo capitolo è stata eseguita un'analisi iniziale sull'intera produzione, partendo dalle materie prime e arrivando fino al prodotto finito, per individuarne le inefficienze.

Lo studio compiuto è iniziato con il calcolo del *lead time* di una cella frigorifera, cercando di comprendere l'intera sequenza delle lavorazioni di trasformazione del prodotto e dei *buffer* presenti tra queste.

Inizialmente sono stati rilevati i tempi cicli delle postazioni di lavorazione e dei tempi di stazionamento dei prodotti all'interno dei *buffer*, che hanno permesso di capire quale fosse il collo di bottiglia produttivo e quindi la postazione inefficiente.

Lo strumento utilizzato in questo caso, per l'individuazione dei punti problematici produttivi sui quali intervenire, è la *Value Stream Mapping*. Si tratta uno strumento fondamentale per tracciare la mappatura completa del processo produttivo, infatti, consente di identificare i flussi informativi e di materiale all'interno dell'azienda partendo dall'accesso delle materie prime e dall'uscita del prodotto finito in produzione.

È una rappresentazione visuale dell'azienda che evidenzia i punti di accumulo che possono essere situati in tre punti nella catena del valore:

- Nei magazzini delle materie prime;
- Nei buffer tra le lavorazioni intermedie del processo produttivo;
- Nei magazzini dei prodotti finiti.

La VSM può avere diversi scopi:

- Definire le tecniche produttive aziendali odierne e i metodi *lean* da perseguire in futuro;
- L'identificazione della distribuzione dei flussi informativi e di materiale nel processo aziendale;
- Evidenziare i punti di accumulo, trovandone le cause e le possibili soluzioni.

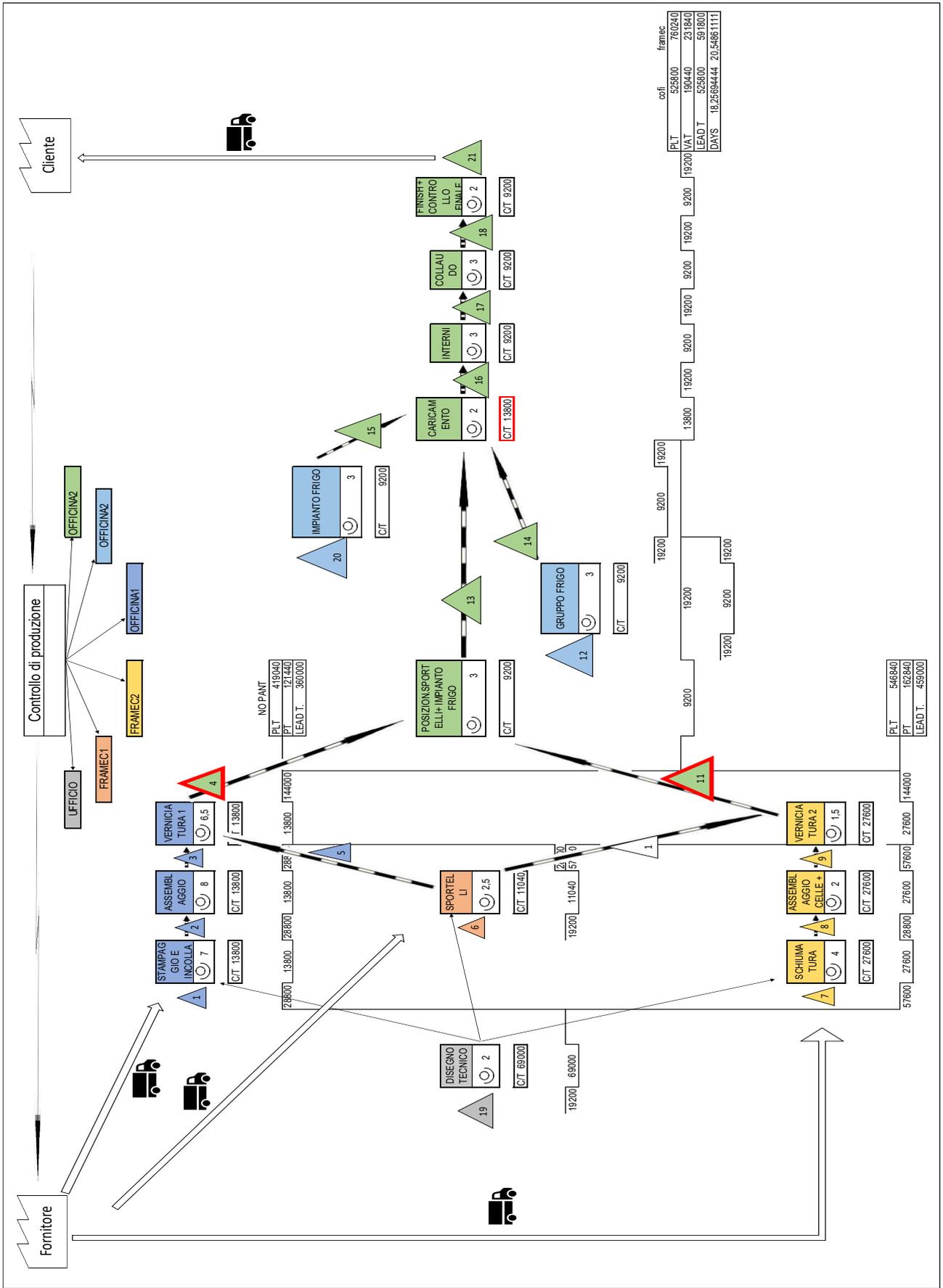
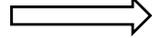


Figura 2.1 - Visual Stream Map

In questo caso il nostro obiettivo è proprio andare a visualizzare i *buffer* che creano accumulo e rallentamenti trovandone le motivazioni.

Per disegnare la mappa sono state usate icone standard che permettono di individuare facilmente i flussi all'interno del processo.

All'interno della mappa definita sopra sono presenti alcune icone:

<ul style="list-style-type: none"> • Il simbolo che descrive le aziende esterne (clienti e fornitori). Queste, per la Franger s.r.l., sono molteplici quindi sono state contenute in una sola icona rappresentante. 	 <p>Figura 2.2 - Simbolo azienda VSM</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Questa raffigurazione invece descrive un processo produttivo in generale: può rappresentare diverse realtà, dallo stabilimento alla semplice macchina per la singola operazione. In questo caso si riferisce a tutte le postazioni di lavorazione che determinano il <i>lead time</i> del prodotto finito. Infatti, all'interno del riquadro sottostante ad ogni simbolo presente nella VSM, è presente il tempo/ciclo caratteristico della lavorazione e la quantità presente di operatori. 	 <p>Figura 2.3 - Simbolo processo VSM</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Il terzo simbolo è il triangolo che richiama il segnale di pericolo, infatti descrive i <i>buffer</i> tra le lavorazioni dove è presente il possibile accumulo di prodotto e quindi lo spreco in produzione. Il tempo di stazionamento si può quantificare sia in quantità di celle frigorifere che in giorni o per quanto riguarda l'ufficio tecnico in disegni da compiere; 	 <p>Figura 2.4 - Simbolo magazzino VSM</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La freccia a strisce nere e bianche descrive la movimentazione di materiale con una logica <i>push</i> tra le celle di lavorazione; 	 <p>Figura 2.5 - Simbolo push VSM</p>
<ul style="list-style-type: none"> • La freccia bianca invece indica il flusso di materiale tra fornitori/clienti e lo stabilimento aziendale; 	 <p>Figura 2.6 - Simbolo flusso materiale con terzi VSM</p>

<ul style="list-style-type: none"> • La freccia dritta sottile denota il flusso informativo tra il sistema di controllo e le varie stazioni produttive. Nella situazione attuale questo avviene in modo orale, che comporta possibili <i>misunderstanding</i> con conseguenti sprechi di tempo e di costo. In questa tesi si è cercato di intervenire sotto questo aspetto migliorando la comunicazione, creando un sistema informativo tecnologico ad hoc, all'interno del quale saranno contenute le informazioni necessarie per l'operatore per compiere l'intero processo di lavorazione. 	 <p>Figura 2.7 - Simbolo flusso informativo VSM</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Per ogni stazione di lavorazione è presente il simbolo dell'operatore con la quantità relativa, dalla quale si può risalire alla produzione teorica netta per risorsa di ogni stazione di lavoro. 	 <p>Figura 2.8 - Simbolo operatore VSM</p>

Sotto la sequenza delle lavorazioni è anche possibile vedere la linea sulla quale sono presenti i valori temporali delle stazioni e dei *buffer*, i primi si riferiscono al tempo ciclo delle postazioni sovrastanti e i secondi descrivono le tempistiche di permanenza dei semilavorati all'interno del magazzino intermedio.

Completata la *Value Stream Map*, tramite questi valori si può identificare quale sia il *lead time* di produzione del prodotto e il tempo totale a valore aggiunto (*Value Added time*) del processo produttivo.

Come si evince dalla rappresentazione del processo, la cella frigorifera può compiere due tipi di percorsi in produzione in funzione del materiale con cui viene prodotta.

Questi due tipi di processi determinano la materia prima con cui viene lavorata la cella risultante determinando una differenza sostanziale sia di operazioni compiute nelle lavorazioni intermedie che di *lead time*.

Per rendere più chiaro il processo produttivo aziendale si sono evidenziati con alcuni colori le lavorazioni, identificandole, oltre che nella sequenza temporale, anche nello spazio. Per esempio, si nota che le ultime lavorazioni da compiere sono situate nell'officina dove è presente anche il sollevamento con il carroponte. Dato che l'officina ha un *layout* ben delineato, l'accumulo di prodotto nei *buffer* di presenti non può essere infinito.

Grazie alla comunicazione con il *lean manager* aziendale si è cercato di stimare i tempi intercorsi tra l'inizio e la conclusione delle operazioni condotte nelle varie postazioni e per ogni *buffer*.

Un problema che si evidenzierà, anche successivamente nello studio della tesi, è la tipologia di prodotto finito che offre l'azienda sul mercato. Infatti, la cella frigorifera non è un prodotto standard, con caratteristiche puntuali, ma può possedere diverse proprietà influenzando sia sulla modalità di lavorazione da compiere in ogni *work station* che sui tempi ciclo.

Infatti, per questi ultimi, sono stati identificati dei valori temporali medi, tenendo conto della variabilità caratteristica del prodotto da eseguire.

Dato che prima di arrivare in officina sono presenti due percorsi di produzione distinti, sono state definite due relative tipologie di celle refrigeranti nominate Cofi e Framec, in funzione della sequenza di lavorazione applicata. Dopo il posizionamento sportello i tempi ciclo di questi due prodotti sono stati approssimati uguali perché le lavorazioni precedenti non influiscono significativamente su quelle successive.

Oltre ai dati produttivi, si è stabilito anche quale fosse la domanda in media delle due celle frigorifere analizzate e si è ottenuto che l'azienda ha una domanda di 60 Pz/mese di cui:

- COFI → 20 pz/mese;
- FRAMEC → 40 pz/mese.

Da questi dati si sono trovati i risultati giornalieri:

Richiesta FRAMEC media (pz/gg)	1
Richiesta COFI media (pz/gg)	2
Richiesta totale	3

Tabella 2.1 - Domanda clienti

Si è calcolato il tempo effettivo di lavoro nei processi dell'operatore tenendo conto che i giorni lavorativi delle risorse sono uguali a 20 e il tempo lordo giornaliero è 8 ore, con una pausa di 20 minuti, arrivando quindi ad avere un tempo disponibile giornaliero netto (*available working time*) uguale a 27600 s/turno.

Invece il tempo di giacenza è stato calcolato facendo il rapporto tra le celle stazionate nei *buffer* (WIP) e la domanda giornaliera del prodotto passante, tenendo conto delle quantità presenti nei due percorsi e delle loro diverse domande.

buffer id	numero celle	tempo
1	2	28800
2	2	28800
4	10	144000
...
5	2	28800

Tabella 2.2 - Tempo giacenza buffer

Tramite i tempi cicli e di giacenza, è stato possibile calcolare il *Value Added Time* e il *Production Lead Time*.

Il *Production lead time* è stato calcolato come la sommatoria di tutti i valori presenti della linea sottostante le lavorazioni e i *buffer* dei percorsi caratteristici, invece per quanto riguarda il VAT sono stati sottratti al PLT i tempi di stazionamento delle celle nei magazzini.

Valori	Cofi	Framec
PLT	525800	591800
VAT	190440	231840
DAYS	18,26	20,55

Tabella 2.3 - Lead time prodotti finiti

Dai dati presenti nelle tabelle 2.1 e 2.3 si nota che le due tipologie di celle producibili (Cofi e Framec), oltre ad aver richieste differenti sul mercato, possiedono un *lead time* che differisce di due giorni a causa dalle lavorazioni precedenti a quelle in officina.

Come si nota dalla VSM specifica, nelle postazioni precedenti al posizionamento degli sportelli ci sono percorsi ben equilibrati dove i tempi cicli di lavorazione di una cella sono in media sempre costanti così da non aggravare i *buffer* intermedi. Arrivati in officina, invece, si nota che è presente una lavorazione, il caricamento al carroponte, con un tempo ciclo maggiore a quelle presenti, che determina il collo di bottiglia della produzione.

Questa postazione lavora 1/3 più lenta rispetto a quelle precedenti e successive, rallentando l'intera produzione. Per ridurre il *lead time*, occorre diminuire il tempo ciclo della *work station*, per non che

il *buffer* 13 (prima del carro ponte) continui ad aumentare in futuro diventando un punto di accumulo in costante crescita, causando tempi morti nelle postazioni successive.

Per risolvere questo problema è possibile intervenire secondo tre modalità diverse anche in funzione della tipologia di lavorazione e della strategia aziendale:

1. Acquisire un nuovo carro ponte;
2. Assumere un nuovo operatore che lavori contemporaneamente sotto la cella frigorifera;
3. Analizzare il processo cercando di applicare dei metodi di *lean production* eliminando i *muda* presenti.

L'acquisizione di un carro ponte è un investimento molto importante per un'azienda in quanto impatta fortemente sul conto economico aziendale e viene ammortizzato solo dopo anni di produzione.

L'assunzione di un nuovo operatore, invece, è sicuramente un investimento di minor entità ma significherebbe anche istruire una risorsa in un lavoro altamente artigianale, complesso e composto di molte operazioni, che potrebbe apprendere solo dopo alcuni mesi o anni correndo il rischio di rallentare l'operatore già presente.

Date queste premesse il lavoro della tesi, è stato quello di analizzare la postazione di sollevamento al carro ponte, andando ad eliminare gli sprechi di tempo, costo e fatica presenti standardizzando e ottimizzando il processo senza dover ricorrere ad alcun investimento.

3 ANALISI DELLA LAVORAZIONE A PUNTO FISSO

Questa lavorazione è stata definita a punto fisso poiché le operazioni sono svolte in una postazione in cui la cella frigorifera è fissa, in un punto ben preciso dell'officina, appesa al carroponete, ed è l'operatore che si muove e compie azioni sotto di essa, determinando uno spostamento notevole della risorsa che potrebbe causare ingenti sprechi di tempo e di fatica.

In questo capitolo si è compiuta l'analisi della struttura operativa del processo di lavorazione sotto il carroponete e sono state identificate le aggiunte di valore che vengono effettuate sulla cella frigorifera nella postazione.

Si sono iniziati a delineare quali siano i fattori e le fasi presenti nella lavorazione identificando l'albero di processo corrispondente.

L'obiettivo di questo capitolo è riuscire ad illustrare la lavorazione compiuta nel tempo ciclo descrivendo le lavorazioni necessarie per la creazione del prodotto finale ed evidenziando anche quali siano le sequenze che si hanno tra le diverse fasi operative.

Essendo una postazione intermedia del processo produttivo, il prodotto iniziale è già stato lavorato nella postazione precedente, quindi, non si tratta di materie prime, ma di una cella frigorifera semifinita (come in figura 3.1). Questa arriverà in postazione "spoglia", priva di caratteristiche particolari e non funzionante e uscirà da questa *work station* con entrambe le proprietà.

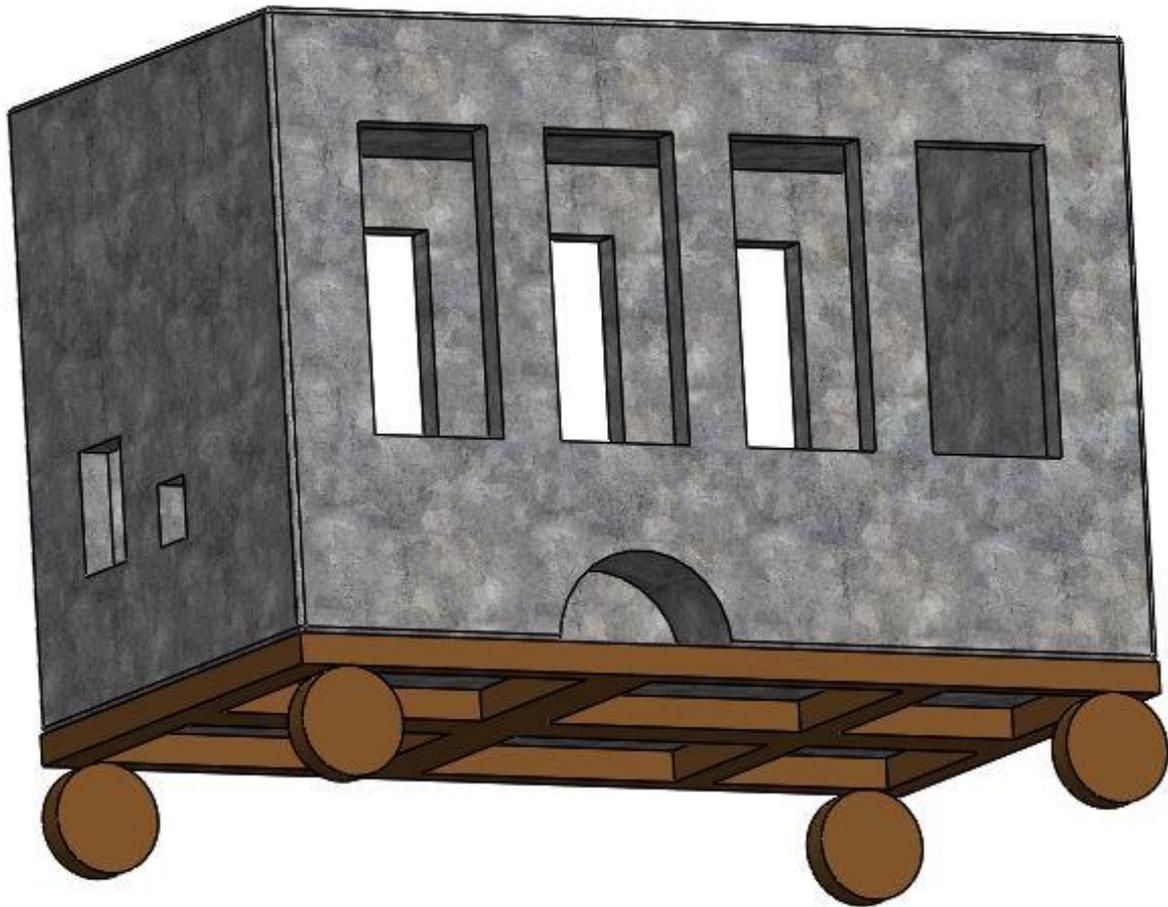


Figura 3.1 - Cella frigorifera all'arrivo in postazione

L'albero di processo con il quale è stata descritta la lavorazione è un grafo simile all'albero di prodotto ma, invece che i componenti della cella, sono descritte le fasi per aggiungere valore ad essa per renderla funzionante.

Per quanto riguarda le fasi che compongono questo tipo di lavorazione si tratta, per la maggior parte, di azioni di assemblaggio dei componenti al prodotto semifinito e di operazioni eseguite sulla cella per predisporla alla spedizione al cliente.

Inizialmente si è analizzato l'intero processo, individuando quali fossero tutte le possibili operazioni da compiere sulla cella frigorifera.

Tramite l'analisi in officina sono state identificate 33 fasi:

- La fase iniziale che determina l'arrivo del prodotto;
- Lavorazioni intermedie che determinano le peculiarità della cella finale;
- Lavorazioni finali che influiscono sulla modalità di spedizione del prodotto al cliente.

Le fasi di lavorazione sono state individuate con un numero identificativo e inserite nella seguente tabella:

fase	titolo	fase	titolo
1	arrivo generale	18	fili Cofi
2	profilo fori	19	fili Framec
3	arrivo cavalletti	20	cassetta di derivazione post
4	fori	21	griglie
5	camion	22	parafanghi cella
6	pre camion no f. telaio	23	paraspruzzi parafanghi cella
7	pre camion si f. telaio	24	paraspruzzi cella
8	pre telaio con cavalletti	25	paraspruzzi camion
9	parafanghi camion	26	barra paraciclistica
10	paraspruzzi-parafanghi camion	27	sostegno barra incastro
11	ridelle alluminio passo ruota	28	ridelle plastica
12	ridelle alluminio	29	gruppo frigo
13	paracolpi	30	post cavalletti-carrelli
14	presa di ricarica	31	post telaio con cavalletti
15	catarifrangenti	32	post camion si f. telaio
16	pre cassetta di derivazione	33	post camion no f. telaio
17	fili ridella alluminio		

Tabella 3.1 - Elenco fasi di lavorazione

La risorsa esegue le fasi assemblando i componenti alla cella in modo sequenziale stando però attenta a seguire le regole di precedenza in funzione delle proprietà tecnologiche presenti.

Il prodotto può avere diverse peculiarità e ognuna richiede una sequenza di operazioni ben precise. Dalla tabella 3.1, si nota che sono state ripetute alcune fasi anche se sono presenti componenti simili da assemblare alla cella come, ad esempio, le fasi riguardanti le ridelle, i fili e i paraspruzzi.

Queste fasi comprendono prodotti similari ma le operazioni da eseguire per assemblarli alla cella semifinita sono differenti e dato che in questo studio, si vuole analizzare il processo di lavorazione in funzione delle singole azioni da compiere, sono state identificate in fasi distinte.

Dato che in termini di produttività, per lo studio della postazione, i fattori determinanti individuati sono gli spostamenti dell'operatore, gli strumenti e il tempo, il processo è stato diviso in fasi secondo il seguente criterio:

- L'uso diverso di prodotti, se due lavorazioni hanno operazioni uguali ma differiscono nell'uso di componenti o strumenti vanno divise in due fasi distinte. Per esempio, il 32 e il 33 sono

fasi di spedizione simili ma nel momento di fissaggio della cella, il primo è eseguito tra la cella e il falso telaio mentre il secondo direttamente tra la cella e il camion;

- La diversa posizione nell'esecuzione delle azioni, se un componente può essere assemblato in diverse posizioni all'interno della postazione, il numero di fasi da analizzare è determinato dalla quantità di possibili lavorazioni da eseguire. Per esempio, gli assemblaggi dei paraspruzzi al camion e alla cella sono dati dalla sequenza di operazioni elementari uguali ma eseguite in posizioni diverse all'interno della postazione di lavoro.
- La presenza di implicazioni logiche all'interno del processo;
- La diversità della sequenza di operazioni specifiche da compiere per fasi riguardanti prodotti uguali, per esempio le lavorazioni riguardanti i fili che possono essere di due tipologie, le posizioni di assemblaggio sono uguali ma alcune azioni e strumenti sono differenti;
- La tipologia di celle frigorifere producibili, le scelte del cliente impattano direttamente sulla sequenza del processo.

Una volta individuate le fasi che formano interamente il processo, si sono individuate le implicazioni e le precedenze presenti tra di esse per stilare quali fossero le migliori sequenze di operazioni da eseguire.

Per descrivere le precedenze delle fasi nella lavorazione complessiva si è usato il diagramma PDM (*Precedence diagram method*). Questo grafo è maggiormente usato nella valutazione dei progetti ma che in questo caso, risulta essere utile per decifrare e avere una chiara idea su come schedulare il nuovo processo; infatti, invece delle *milestones* di progetto sono presenti le conclusioni delle fasi che determinano le precedenze.

In questo reticolo vengono rappresentate le logiche di disposizione nel tempo delle fasi nel processo di lavorazione totale.

Questa tecnica reticolare è realizzata tramite due elementi in particolare:

- I nodi, che sono di solito rappresentati da un punto ma che in questo caso sono definiti da quadrati;
- Gli archi, che sono la rappresentazione della relazione binaria, in questo caso, di precedenza assoluta tra fasi.

Nella rappresentazione grafica vengono inseriti i dettagli seguenti:

- Le attività, che nel problema corrente sono le fasi di produzione, rappresentate dai nodi;
- Le precedenze rappresentate dagli archi (segmenti che collegano i nodi).

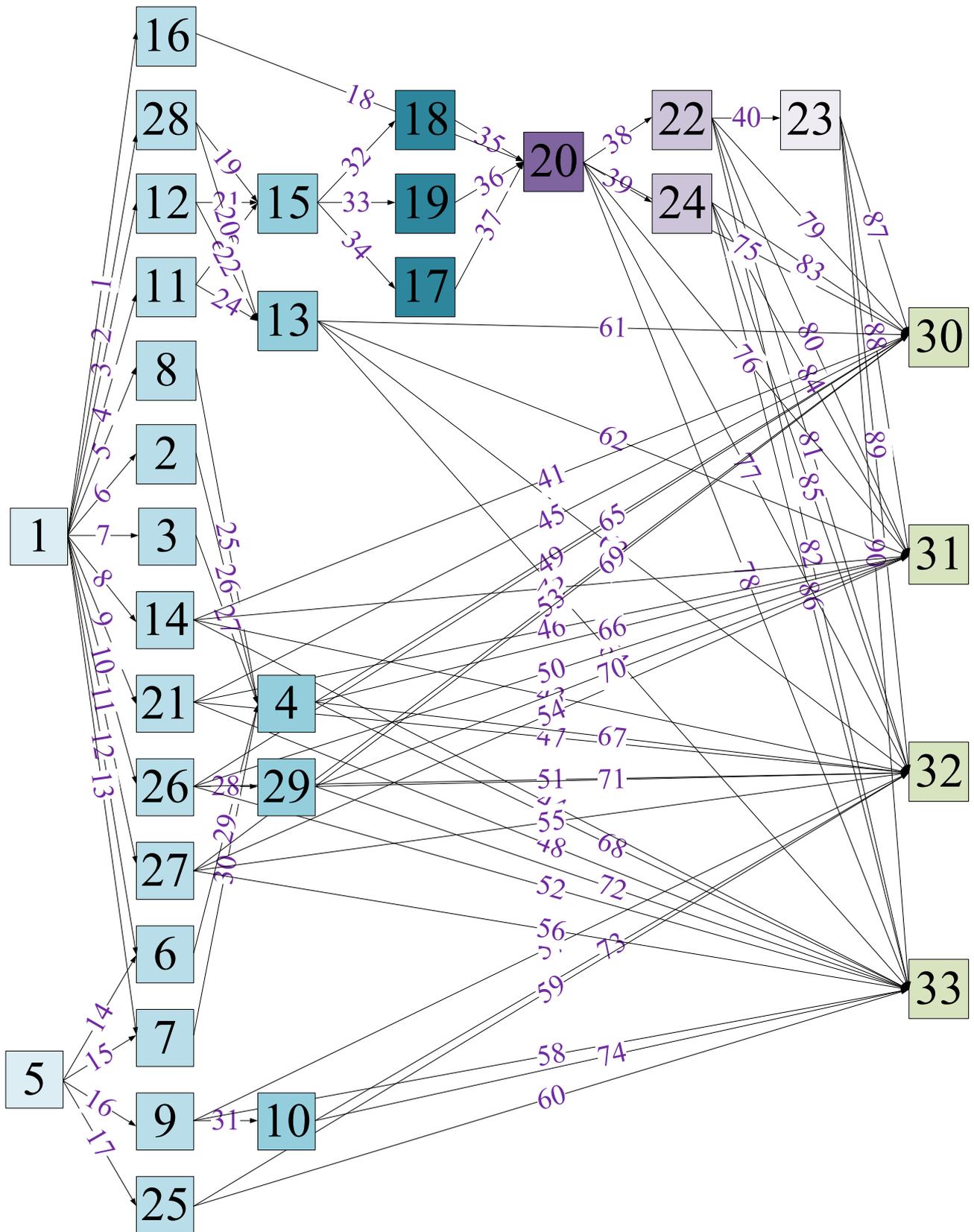


Figura 3.2 - Diagramma delle precedenze

In questo diagramma sono state descritte solamente le precedenze temporali fondamentali dovute alla tecnologia presente nella cella frigorifera, invece, per quanto riguarda i percorsi uscenti da 1 sono stati collocati successivamente nella linea del tempo.

A ogni arco è stato dato un numero che ha permesso di identificare ogni precedenza all'interno dell'intero processo produttivo.

Per rafforzare il concetto e studiare numericamente le precedenze individuate è stata rappresentata anche la matrice delle precedenze che descrive quali attività presenti nelle righe sono precedute dalle fasi nelle colonne.

/	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Σ	
33																																		0	
32																																			0
31																																			0
30																																			0
29	72	71	70	69																														4	
28																			19	20														2	
27	56	55	54	53																														4	
26	52	51	50	49	28																													5	
25	60	59																																2	
24	86	85	84	83																														4	
23	90	89	88	87																														4	
22	82	81	80	79							40																							5	
21	48	47	46	45																														4	
20	78	77	76	75							39	38																						6	
19														36																				1	
18														35																				1	
17														37																				1	
16														18																				1	
15															33	32	34																	3	
14	44	43	42	41																														4	
13	64	63	62	61																														4	
12																																		2	
11										23										21	22													2	
10	74	73																																2	
9	58	57																							31									3	
8																															25			1	
7																															30			1	
6																															29			1	
5										17																16	15	14						4	
4	68	67	66	65																														4	
3																																27		1	
2																																26		1	
1						1	11	10					9				1		8		3	4			5	13	12			7	6		13		
Σ	14	14	11	11	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	1	1	1	2	1	3	1	1	1	1	1	2	2	0	5	1	1	0		

Tabella 3.2 - Matrice delle precedenze

Dal grafico e dalla matrice seguente si può evincere quali siano i nodi radice, cioè quelli con la colonna senza numeri 1 (1 e 5), e i nodi foglia che presentano nelle loro righe l'assenza di valori positivi (30,31,32,33).

Dall'1 partono ben 13 archi, questo perché la cella non è ancora assemblata a nessun oggetto e quindi predisposta ad essere lavorata con la maggior parte dei prodotti. Da questo si evince che la maggior parte delle fasi compiute non dipendono da quella precedente ma solamente da alcune logiche tacite all'interno del processo.

Il nodo 20 invece è una fase determinate all'interno della lavorazione poiché è l'ultima attività necessaria da eseguire per la quale il prodotto possa definirsi funzionante, infatti dopo questa, le successive sono ausiliarie corrispondenti a richieste dai clienti.

Il processo inizia sempre con 1 che comprende lo spostamento della cella frigorifera dalla postazione precedente alla posizione del layout dove è presente il carroponete sul quale la cella rimarrà sospesa per la maggior parte del tempo.

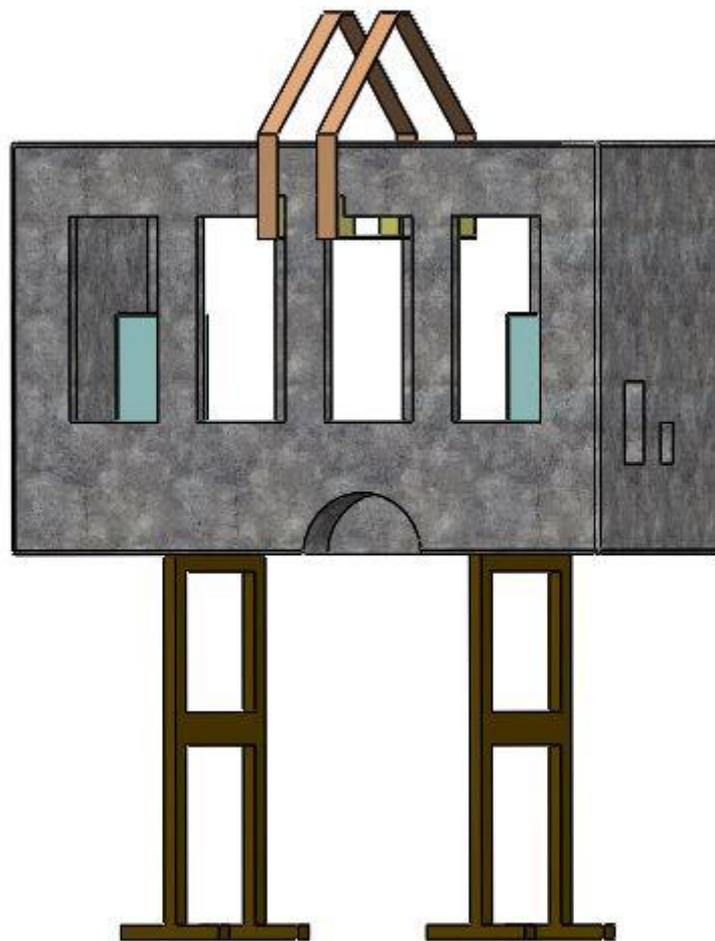


Figura 3.3 - Posizione della cella durante le operazioni

Dopo la messa in posizione della cella, le fasi da compiere sono date dalla predisposizione del prodotto alla modalità di spedizione (2-3-8-6-7) e successivamente si inizia ad assemblare i componenti caratteristici.

All'interno della PDM sono presenti percorsi sia inclusivi che esclusivi e al loro interno le fasi sono state sequenziate in funzione a diversi fattori:

- La difficoltà nelle operazioni presenti;
- Il rischio di trovare errori nello scheletro del prodotto da doverlo rilavorare nelle *work station* precedenti;
- La correlazione tra la fase precedente e successiva;
- La correlazione tecnologica tra macro-attività.

La sequenza di operazioni non è una soluzione di calcoli teorici ma una decisione sulla base delle conoscenze insite nel prodotto del tutor aziendale e delle discussioni con la risorsa operante sotto il carroponte.

Dati questi parametri, l'albero di processo corrispondente è di questo tipo:

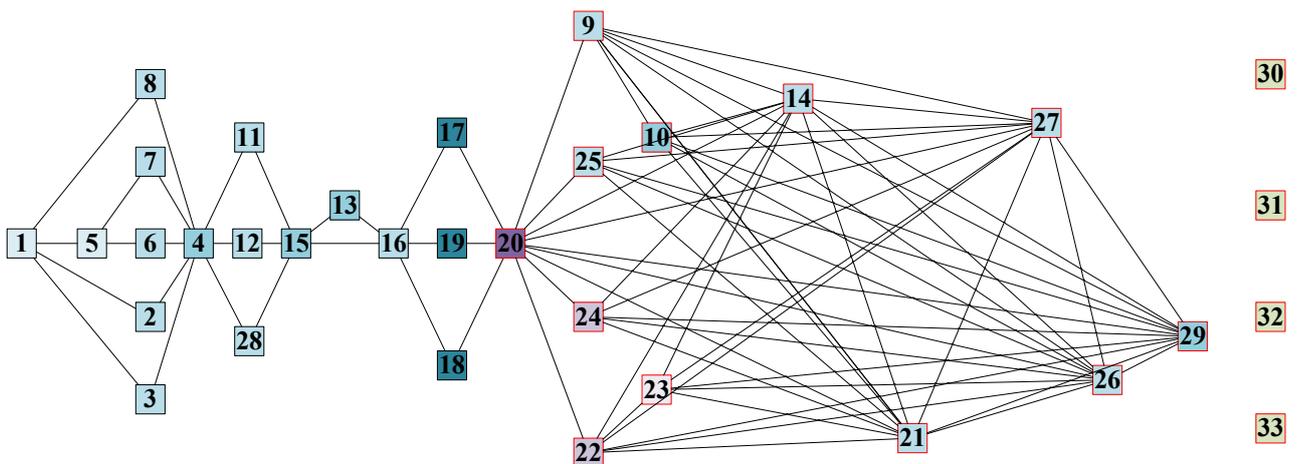


Figura 3.4 - Albero di processo

Da questo tipo di grafo si può ottenere sia la scansione temporale delle attività che le diverse scelte da intraprendere all'interno della lavorazione.

I quadrati con il bordo rosso sono le attività ausiliarie che possono essere collegate direttamente ai nodi finali se quelle successive non sono presenti. Invece se l'attività 20 non viene compiuta allora il prodotto non è pronto e funzionante, quindi non può essere spedito al cliente creando un vincolo importante per lo studio della lavorazione.

Dal grafico, inoltre, si possono intuire alcune logiche di processo che sono determinate dalle caratteristiche finali di quel prodotto; infatti, si vede che sono presenti alcune fasi in parallelo disposte allo stesso valore dell'asse delle ascisse che determinano delle scelte esclusive. Per esempio, 17, 18 e 19 si trovano allo stesso livello e ciò comporta che solo una di queste può essere attivata per il compimento della lavorazione.

Invece le attività che si trovano a livelli differenti rappresentano disgiunzioni inclusive, infatti, la 16 non dipende da altre attività ma scaturisce dalla volontà del cliente di attivarla o meno.

Il grafo ci permette inoltre di ricavare un ipotetico tasso di probabilità di accadimento teorico generale che viene determinato dalla tipologia di disgiunzione delle fasi:

- 100%, per le fasi sempre presenti, che non sono in parallelo con altri nodi;
- $(100/N)\%$, per le N fasi alternative sempre attivate allo stesso livello;
- $(100/N+1)\%$, per le N fasi alternative che non sono sempre attivate allo stesso livello.

fase	probabilità di accadimento
33	100%
32	100%
...	...
26	50%
23	50%
...	...
17	33,3%
...	...
3	20%
2	20%

Tabella 3.3 - Probabilità di accadimento teorica delle fasi

Le implicazioni logiche e produttive che rivelano queste percentuali sono:

- 1, 4, 16, 20, 15 sono fasi che rendono la cella frigorifera funzionante per il cliente quindi sono obbligatoriamente eseguite;
- 5, 13, 14, 21, 26, 27, 29, 23 e 10 possono essere attivate se richieste dal cliente, perciò, è stata affidata loro una probabilità del 50%;

- 11, 12, 28 e 17, 18, 19 fanno parte di due scelte obbligatorie poiché la loro presenza è necessaria e ipotizzando che ogni fase ha probabilità di accadimento uguale i loro valori percentuali sono 33,3%;
- 9, 22, 24, 25 sono azioni non obbligatorie e si trovano tutte sullo stesso livello, ciò comporta che abbiano tutte quattro il 20% di probabilità di accadimento;
- 2, 3, 6, 7, 8 sono le modalità di spedizione della cella frigorifera al cliente e ognuna di queste scelte equivale all'attivazione di una delle azioni finali, questo implica che 30, 31, 32 e 33 abbiano probabilità 100%.

Con la determinazione delle fasi e delle precedenze, non si è concluso il lavoro di analisi perché nella logica di lavorazione della cella frigorifera sono presenti attività, che data la loro attivazione, ne escludono alcune seguenti.

Questo determina la presenza di disgiunzioni logiche, non solo tra quelle alla stessa altezza dell'albero di processo ma anche lungo l'arco temporale di lavorazione.

Per esempio, le alternative 17, 18 e 19 sono strettamente dipendenti dalla scelta fatta precedentemente a livello della tipologia delle ridelle (28-11-12).

Quindi dopo aver evidenziato le precedenze e le disgiunzioni delle operazioni simili allo stesso livello temporale, si sono determinate anche quelle sfalsate nella sequenza di lavorazione. Queste implicazioni sono state descritte tramite le tabelle della verità.

La prima descrive quelle insite alle fasi intermedie:

A	B	A∧B
28	17	F
28	22	F
12	22	F
24	23	F
25	23	F
9	23	F
24	10	F
25	10	F
22	10	F

Tabella 3.4 - Tabella della verità delle fasi intermedie

Tramite la tabella 3.4 sono state determinate quelle fasi che non possono coesistere e quindi da non attivare congiuntamente nella stessa lavorazione. Per comprendere questo è stato usato solo l'operatore *and* che è un connettivo logico capace di congiungere le due proposizioni presenti, in questo caso fasi di lavorazione.

Sono state inserite in tabella solamente le eccezioni logiche presenti nelle colonne A e B, che denotano la loro attivazione (V).

La fase A è sempre quella che temporalmente avviene prima delle due e quindi è questa che implica l'impossibilità dell'avvenimento congiunto con la fase B.

In particolare, si nota che le fasi maggiormente determinanti per le sequenze future sono l'assemblaggio delle ridelle e la composizione dei parafanghi e paraspruzzi.

La seconda tabella delle verità invece descrive la logica presente nella determinazione della fase finale del processo di lavorazione:

2	3	8	7	6	→
V	F	F	F	F	30
F	V	F	F	F	30
F	F	V	F	F	31
F	F	F	V	F	32
F	F	F	F	V	33

Tabella 3.5 - Tabella della verità per la conclusione del processo

Questa tabella è composta da valori booleani che identificano la presenza o meno delle fasi presenti nelle colonne. Dall'albero dei processi si nota che queste lavorazioni (2, 3, 8, 7 e 6) sono disgiunzioni esclusive, ciò comporta che solo una di queste può essere attivata e la sua presenza compromette quella delle altre quattro. Questo concetto è presente anche nella tabella che, come si nota il valore V, (attivazione della fase) è presente solamente sulla diagonale principale.

Trovate prima le precedenze e dopo le logiche esclusive e inclusive delle fasi nel processo, ora è possibile stilare interamente le sequenze di lavorazione che si possono avere per la lavorazione del prodotto all'interno della postazione.

Queste sono state illustrate tramite il diagramma dei percorsi presente nella figura sottostante:

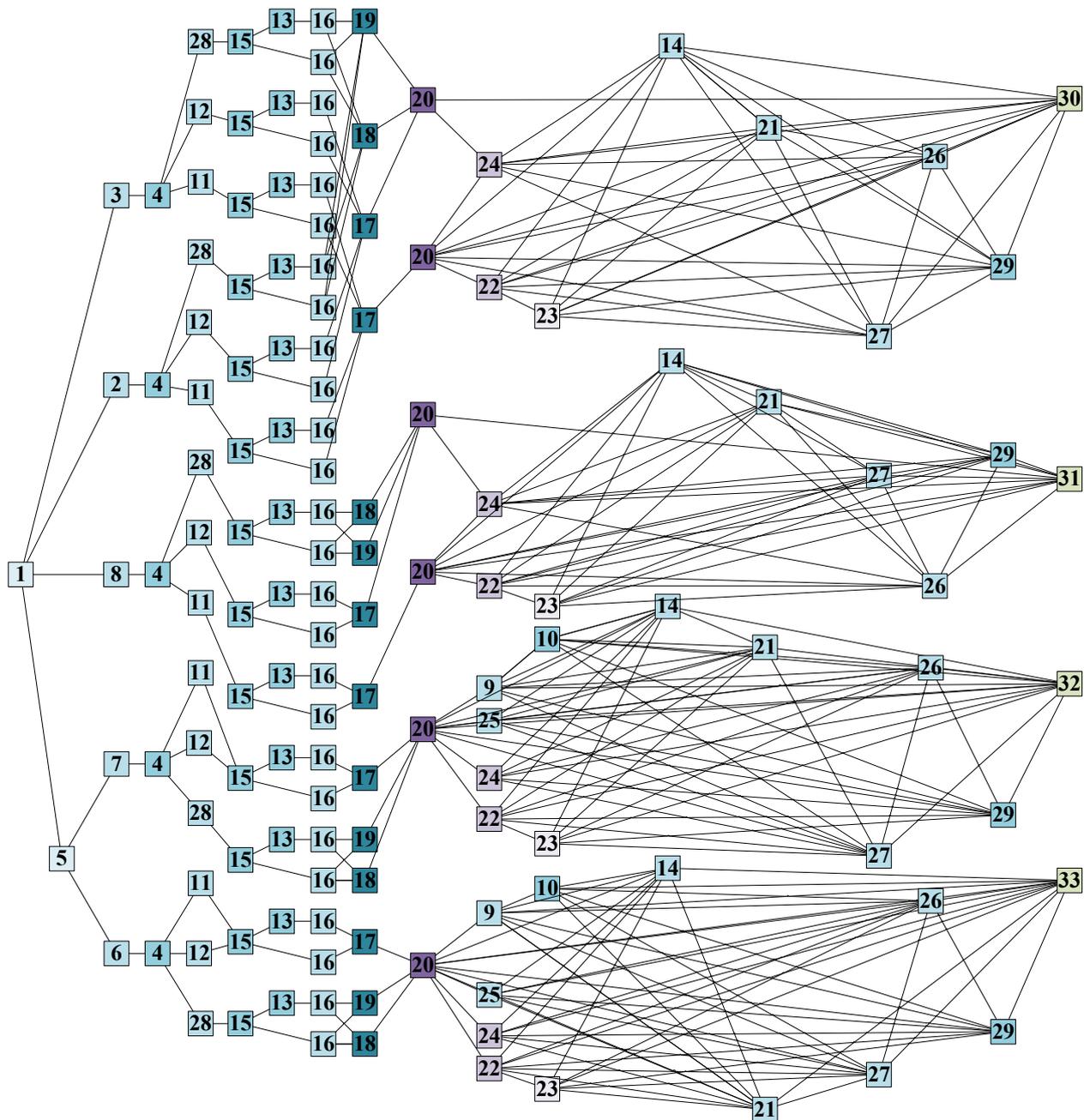


Figura 3.5 - Diagramma dei percorsi del processo produttivo

Come si vede dalla raffigurazione, questo grafo è di più facile comprensione ed è stato creato con lo scopo di illustrare quali siano le possibili scelte che si possono intraprendere date alcune caratteristiche.

Per crearlo sono state rispettate tutte le logiche presenti nel processo sia esclusive che inclusive.

Inoltre, si può iniziare dall'attività 1 e seguendo un certo percorso, avanzando positivamente sull'asse delle ascisse, si possono trovare tutte le possibili combinazioni dei processi di lavorazione e le scelte temporalmente scandite per la produzione delle celle disponibili.

Il lavoro nella determinazione del diagramma è stato molto utile per avere il quadro completo della lavorazione e per gli studi successivi.

Per esempio, se la sequenza fosse 1-5-6-4-28-15-13-16-19-20-24-21-29-33, le scelte prese sarebbero:

- 1, si tratta dell'azione iniziale obbligatoria, da questa si può decidere quale tipo di servizio dare al cliente;
- 5, si è deciso di servire la cella sul camion quindi 3,2 e 8 sono stati scartati;
- 6, dopo aver deciso il camion, si deve scegliere se usare il falso telaio oppure no, in questo caso non è presente;
- 4, dopo l'impostazione di spedizione avviene sempre la foratura della cella che sarà necessaria per la fase finale. Questa viene eseguita in questo momento perché da questa operazione si può capire se il prodotto lavorato nelle postazioni precedenti risponde positivamente alle qualità richieste;
- 28, si sceglie la ridella in plastica invece che quella di alluminio (scelta a discrezione del cliente);
- 15, si vanno a fissare i catarifrangenti sulla cella nella posizione corretta;
- 13, si sceglie se inserire o no i paracolpi sulla cella;
- 16, si predispose la cassetta di derivazione per poi andare a creare l'impianto illuminotecnico funzionante;
- 19, per esempio scegliendo 16 la possibilità di tipologia di fili che si vanno inserire sulla cella sono solo due, 18 e 19 e in questo caso si è ipotizzata il secondo tipo;
- 20, questa rende l'impianto illuminotecnico funzionante consentendo il funzionamento minimo necessario;
- 24, si decide di non mettere i parafanghi, ma di mettere immediatamente i paraspruzzi sulla cella;
- 21, si decide di saltare la presa di ricarica e di andare direttamente alle griglie;
- 29, in questo caso 26 e 27 non erano di interesse quindi si salta al gruppo frigo;
- 33, come si vede dal grafico il digramma prende già una direzione chiara dal nodo 6 che fa dipendere il nodo finale del percorso.

4 DATABASE AD HOC PER LA SIMULAZIONE DEI TEMPI E DEL MOVIMENTO DELL'OPERATORE

4.1 STUDI PRECEDENTI

Per creare uno studio sui tempi bisogna prima comprendere a quale livello analizzare le operazioni presenti all'interno della lavorazione in funzione delle caratteristiche della stazione di lavoro.

Ci sono due possibili metodi su cui basarsi per analizzare le operazioni di una lavorazione: le metodologie a Tempi Standard e la Cronotecnica. La prima tipologia è un'analisi che si basa su Tempi Standard Predeterminati dove ad ogni operazione compiuta dall'operatore viene associato un certo tempo t . Questo viene fissato solo se le condizioni di lavoro sono sempre le stesse altrimenti il valore cambierà di conseguenza.

I tempi sono scanditi per mezzo di un'unità di misura detta *Time Measurement Unit* che corrisponde a 0,036 secondi, rendendo così la lettura dei valori di più facile interpretazione caratterizzata da una metrica unica.

In pratica il metodo si basa sulla scomposizione della lavorazione totale in micro azioni alle quali viene dato un tempo prestabilito con l'aggiunta di alcuni fattori di correzione fondamentali per ottenere risultati più veritieri e simili al processo reale.

Data la sommatoria dei tempi di tutte le azioni, in funzione dei KPI caratteristici, è possibile associare alla lavorazione il tempo totale stimato e le valutazioni sulla produttività del processo.

Tra i sistemi di rilevazione dei Tempi Standard Predeterminati, il più famoso è certamente l'MTM (*Method Time Measurement*) che è un insieme di metodologie di studio basate sulle specificità e sulle variazioni del ciclo produttivo.

L'MTM, inizialmente, descriveva ogni movimento degli arti e degli occhi e ogni tempo del micromovimento era in funzione di fattori secondari come pesi e difficoltà nella presa; successivamente invece sono stati creati nuovi metodi analitici come l'MTM 2 che semplifica i movimenti e aggrega le azioni del metodo originario.

Queste suddivisioni sono fondamentali poiché non tutte le postazioni sono adatte ad un certo metodo ma ognuna ha peculiarità diverse e anche modalità di analisi ottimali corrispondenti.

Un'altra tecnica importante è il MOST (*Maynard Operation Sequence Technique*) che è meno preciso in quanto non descrive più ogni singola micro azione ma solamente delle sequenze di attività che comportano movimenti. In questo caso i tempi standard sono sempre in base a TMU maggiorato da un fattore compensativo detto “*allowance factor*” che è il 15% del tempo calcolato che tiene conto della fatica e dei rallentamenti che l'operatore deve far fronte durante le operazioni.

Per esempio, la sequenza dello spostamento di un oggetto è descritta da una stringa di lettere dove ognuna di esse rappresenta una tipologia di azione:

- A, distanza del percorso che l'operatore deve compiere, il tempo si basa sui passi che l'operatore deve compiere;
- B, Movimento da fermo;
- G, presa dello strumento/prodotto;
- P, posizionamento del prodotto.

Tramite queste azioni sequenziate è possibile descrivere l'azione di presa e posizionamento del prodotto: A B G A B P A.

La sequenza di controllo invece del prodotto è A B G M X I A, dove M è il movimento controllato, X è il tempo di processamento e I è l'allineamento tra i prodotti.

Per quanto riguarda invece le lavorazioni con gli strumenti, alle sequenze di operazioni si aggiunge una lettera tra P e A della sequenza di movimento che descrive l'azione specifica.

Inoltre, è molto importante tener conto di alcuni fattori che potrebbero far discostare i tempi misurati da quelli reali come l'efficienza dell'operatore e la sua abilità.

L'efficienza è un fattore chiave per la rilevazione corretta del tempo di esecuzione dell'azione perché sono due valori inversamente proporzionali che possono essere descritti tramite la seguente formula:

$$t \times E = \text{costante}$$

Equazione 4.1 - Equazione in funzione del tempo e dell'efficienza dell'operatore

L'efficienza che si tiene conto nei calcoli è di solito quella normale che si calcola in funzione di quella massima nel seguente modo:

$$E_n = 3/4 \times E_{\max}$$

Equazione 4.2 - Calcolo dell'efficienza normale

Quindi, per ottenere un tempo corretto bisogna misurare il valore massimo di questo fattore per poi ricavare quello normale.

Un altro aspetto fondamentale per l'analisi del processo produttivo è dato dall'ergonomia dell'operatore. Per questo argomento è stato analizzato un metodo chiamato ERGO-Uas che prende in considerazione, oltre che la condizione della postazione del lavoro, anche la salute dell'operatore. Da questa tecnica si cerca di standardizzare il lavoro cercando di non caricare eccessivamente l'operaio aumentando contemporaneamente anche la produttività. Tramite alcune tabelle si cerca di ottenere la difficoltà fisica teorica che deve superare l'addetto nel compiere le azioni e tramite alcuni KPI quantificare lo stress psico-fisico a cui è soggetto l'operaio.

4.2 DATABASE AD HOC

L'obiettivo è quello di creare un metodo ad hoc per l'analisi della lavorazione, basandoci in parte su quelli già presenti, definendo un database con all'interno tutte le operazioni presenti per l'assemblaggio al carroponete con i relativi valori caratteristici. Una volta stilata l'intera tabella descrittiva, è stato ottimizzato il processo cercando di avvicinarsi all'azzeramento delle inefficienze. Questo è stato possibile facendo riferimento al concetto di *Workplace Organization* presente nelle teorie di *lean manufacturing* che mira a migliorare diversi aspetti della lavorazione quali l'efficienza, la qualità e la sicurezza. Gli sprechi che sono stati individuati nella lavorazione in questione sono tempi di spostamento, rilavorazioni e tempo speso nella ricerca di materiale. L'operatore è un fattore fondamentale per il miglioramento della prestazione perché è da lui che partono i compiti come quello di pulire, ordinare e migliorare la postazione nel tempo.

Per migliorare il posto di lavoro si è partiti dai cinque passi definiti dalla filosofia giapponese:

- *Seiri*, separare l'utile dal superfluo, cioè eliminare tutti i contenitori/spazi inutili e tenere solamente strumenti e prodotti che creano valore alla cella. Questa strategia è stata usata nella tesi nel riordino di una parte di officina adiacente al banco di lavoro che era occupata da componenti inutili. Questa era diventata ormai un punto di accumulo di materiale che creava disordine e rendeva difficile l'individuazione del materiale necessario;
- *Seiton*. Ordinare ciò che è utile; questo concetto sta alla base della risoluzione dello studio della riorganizzazione del materiale del capitolo 5, secondo il quale bisogna

trovare “un posto per ogni cosa e quella cosa deve essere messa al proprio posto”. È fondamentale trovare la collocazione opportuna di ogni strumento/prodotto per eseguire una lavorazione in modo efficace. Si possono usare diverse tecniche migliorare il posizionamento dei prodotti come quella della frequenza di utilizzo o altrimenti se si è in possesso anche dei tempi e delle fasi di processo si possono usare metodi ancora più specifici. Inoltre, è importante anche mettere i componenti ad un'altezza corretta di presa;

- *Seiso*, pulire il posto di lavoro poiché migliora la qualità del lavoro dell'operatore e rende più facile vedere anomalie. Oltre a pulire bisogna anche cercare di risalire alle cause di queste per migliorare ulteriormente il processo;
- *Seiketsu*, standardizzare. Dopo aver effettuato i cambiamenti nella postazione, bisogna stabilire gli standard da eseguire per creare valore alla cella (capitolo 6.2), grazie ai quali viene fotografata l'esatta sequenza di azioni che bisogna compiere, Questa deve sempre essere messa in discussione date le variazioni di lavorazioni necessarie e il miglioramento continuo;
- *Shitzuke*, sostenere. Bisogna disciplinare gli operatori con i principi che stanno alla base della *lean production* cercando di istruirli, formarli e incentivarli a migliorarsi sempre. Infatti, in alcuni casi vengono messi degli indicatori con lo scopo di rilevare il miglioramento continuo.

Questi cinque pilastri sono la base da cui parte l'intero studio di ottimizzazione della *work station*.

Avendo studiato a lungo la modalità di lavorazione sotto il carro ponte, si è deciso di descrivere ogni operazione presente nel database secondo i seguenti fattori:

- Gli strumenti/prodotti coinvolti;
- La posizione iniziale e finale nel layout;
- Il tempo necessario a svolgerla;
- Gli indici ergonomici;
- Le quantità di ripetizioni.

Durante la lavorazione sono presenti una serie di operazioni compiute con diversi strumenti e prodotti e l'operatore non è fermo ma deve muoversi per prenderli ed applicare alla cella il valore aggiunto. Questo fa sì che gli spostamenti dell'operatore non sono da sottovalutare.

Inoltre, il tempo ciclo di una cella nella postazione è sempre superiore al paio di ore e questo influisce sul grado di meticolosità del sistema caratterizzando la dimensione delle operazioni presenti nella tabella.

La lavorazione è di tipo artigianale e le azioni a valore aggiunto da compiere sono molte e con bassa ripetitività. Queste devono essere compiute con molta attenzione e concentrazione perché molte, se svolte in modo non corretto, comporterebbero una perdita di numerose ore di lavoro per rimediare all'errore fatto.

Si può quindi parlare di un processo di lavorazione a punto fisso dove è presente un'alta variabilità di caratteristiche, un'ampia distanza percorsa dall'operatore e una sequenza di assemblaggi di prodotti sulla cella frigorifera semifinita.

Date le modalità di lavorazione è stata compiuta un'analisi per determinare il miglior grado di specificità da applicare all'interno del metodo ad hoc che è strettamente redatto in funzione del tempo, della ripetitività delle azioni, della quantità di spostamenti, dei movimenti degli arti, della quantità di strumenti e prodotti da usare.

Inizialmente sono stati cronometrati i tempi di lavoro per ogni fase che variavano dai 5 minuti alla mezz'ora e dati questi range è risultato difficile osservare i micromovimenti degli arti o i piccoli accorgimenti che venivano adottati.

Successivamente per ogni fase sono state individuate le attività e gli strumenti e i prodotti utilizzati per avere l'intera distinta di materiale utilizzato.

Data l'individuazione di queste, si sono andate ad analizzare quali non contribuivano nel dare valore aggiunto al prodotto semifinito e si è optato per la loro eliminazione.

Dopo aver ottenuto le informazioni base, le attività sono state ulteriormente spaccettate in azioni.

Queste sono volutamente rimaste ad un medio livello e sono state divise in statiche, quelle a valore aggiunto, e dinamiche, quelle determinate dallo spostamento dell'operatore in officina. È un metodo più grossolano dell'MTM ma il grado di specificità nei movimenti di questo sarebbe eccessivo per la tipologia di lavoro eseguita in questa postazione.

Le operazioni del primo tipo sono per esempio "forare" e "filettare", azioni compiute "da fermo" e quelle del secondo invece sono descritte con il termine "movimento", dove non viene analizzato il cambio di postura dell'operatore.

Le azioni di allineamento tra i prodotti, di controllo e di processamento presenti nel MOST non sono state analizzate distintamente ma sono state raggruppate all'interno dell'azione di movimento della tabella creata con fattori compensativi.

Per esempio, l'assemblaggio della barra paraciclistica alla cella che è dato dal fissaggio delle staffe di alloggiamento al prodotto semifinito, è descritto nella tabella dalle sole azioni di spostamento dell'operatore all'interno del layout, di foratura e di avvitamento ma non da quelle azioni ausiliarie.

Per quanto riguarda la distanza e lo spostamento all'interno del database sono state create due colonne, posizione iniziale e finale, nelle quali sono presenti le coordinate dell'officina caratteristiche dell'operazione. Per l'azione "movimento", le coordinate presenti sono differenti diversamente da quelle di valore aggiunto che essendo statiche sono uguali.

Per quanto riguarda la distanza che compie l'operatore, non è misurata nei passi che dovrà fare ma è in funzione delle posizioni degli strumenti, prodotti e del posizionamento della cella nel layout dell'officina.

La presa e il posizionamento dei prodotti nei punti determinati sono stati indicati solo per gli oggetti pesanti e di grandi dimensioni, mentre per il resto sono inglobati all'interno di un KPI apposito.

La difficoltà nella creazione di un database sperimentale di questo tipo è dovuta principalmente alla durata della sequenza delle operazioni da eseguire per completare il prodotto finito e dallo spostamento continuo dell'addetto che deve muoversi in officina compiendo a volte distanze superiori ai 20 m.

Per la determinazione dei tempi delle operazioni, ci sono due possibilità di rilevazione dei tempi: quella analitica o sperimentale.

In questo caso si è deciso di seguire alcune linee guida ben precise:

- Per quanto riguarda le azioni statiche a valore aggiunto, si è deciso di usare quella sperimentale cronometrando solamente l'operazione singola senza prendere in considerazione l'aggiustamento o l'errore di posizione; per esempio, per un'operazione di foratura, si è misurato dal momento in cui la punta del trapano entra in contatto con la cella fino a quando esce dal foro;
- Per quanto riguarda invece il movimento, si è studiato un metodo analitico basandosi sulla disposizione degli strumenti/prodotti nel layout aziendale e i punti in cui l'operatore deve compiere le lavorazioni. Ipotizzando una velocità media di spostamento e le coordinate iniziali e finali è stato possibile risalire al tempo intercorso nelle diverse distanze da percorrere.

I tempi delle operazioni statiche sono stati ottenuti tramite la media di almeno 20 misurazioni su ognuna che hanno permesso di avere i valori delle tempistiche più accurati possibili.

Per le operazioni eseguite in tempi brevi, come la foratura della cella, le variazioni dei valori nel campione sono stati praticamente nulli invece per le azioni più durature si sono notate varianze più significative. Per quest'ultime, dato che la deviazione standard era piuttosto ampia, sono state effettuate alcune verifiche sulla modalità di esecuzione, standardizzandole, per avere risultati maggiormente attendibili.

Nei valori ottenuti si è tenuto conto anche del fattore “Efficienza” prendendo spunto dal MOST. Cronometrando e analizzando il lavoro dell’operatore si è cercato di capire anche quale fosse la sua efficienza massima e di conseguenza si è calcolata la costante e il corrispettivo tempo di ogni operazione:

$$t = \text{costante} / E_N$$

Equazione 4.3 - Calcolo del tempo di un'azione in funzione dell'efficienza dell'operatore

Alcuni dei 90 valori analizzati dati dai tempi delle operazioni statiche sono stati raccolti nella seguente tabella in ordine decrescente:

tempi	secondi
taglio ridelle	420
taglio barra paraciclistica	360
posizionare cric su camion	135
posizionare telaio	100
posizionare cavalletti su carrelli	60
...	...
inserire rivetto manuale	2
inserire perno plastica	2
segnare cella con matita	2
rivettare con rivettatrice	1,5

Tabella 4.1 - Tempi delle operazioni statiche cronometrate

I tempi, come si evince, hanno un range abbastanza ampio che va dal paio di secondi ad alcuni minuti. La varianza è così grande perché sono presenti azioni compiute direttamente su una macchina apposita che hanno durate di gran lunga superiori rispetto alle altre dovute alla potenza dello strumento. L’esempio presente nella tabella sono le macchine di taglio dei prodotti in plastica e in metallo evidenziate in rosso.

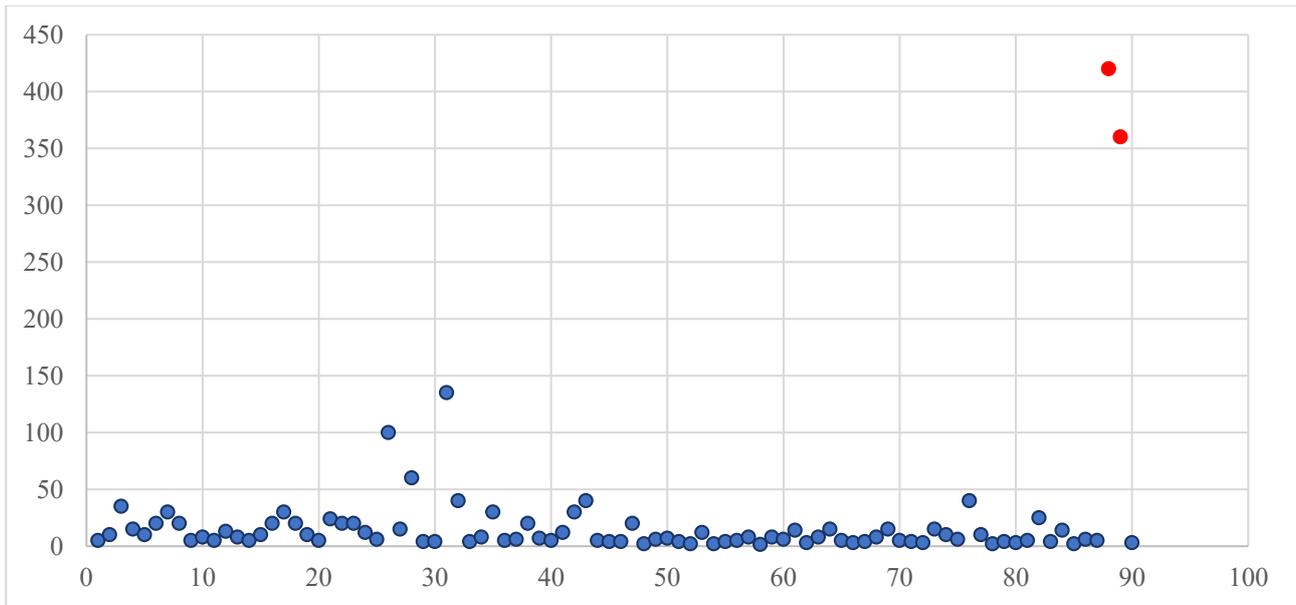


Figura 4.1 - Diagramma a dispersione con i valori temporali (s) delle operazioni

Come si vede dal grafico sono presenti cinque *outlier*, operazioni che superano i 50 secondi di tempo, sulle 90 totali; questo è dato dal fatto che la maggior parte delle azioni a valore aggiunto sono definite da un tempo compreso tra 2 e 50 secondi. Sapendo che la lavorazione supera sempre le 2 ore vuol dire che la quantità di operazioni da compiere per finire il caricamento al carroponete sono innumerevoli.

Un altro aspetto importante del metodo creato è l'individuazione della singola azione. Se ci sono alcune attività dello stesso tipo (esempio foratura) da eseguire una in successione all'altra, per capire se l'operazione deve occupare una riga del database o una sequenza di esse con un movimento intermedio, si è applicato il seguente metodo: se l'operatore deve fare uno spostamento significativo all'interno dell'officina allora le operazioni vanno suddivise, mentre se l'operazione è eseguita nello stesso punto del layout e nelle stesse condizioni al contorno, allora occupa una sola riga e nella colonna delle ripetizioni comparirà il numero esatto di queste, rendendo così trascurabili gli spostamenti intermedi.

Per esempio, l'esecuzione di fori di una staffa sulla cella che sono a distanza circa di 10 cm è stata determinata come un'unica azione ed è stato inserito il numero dei fori della staffa all'interno della colonna delle reiterazioni.

Per ottenere tutti i tempi necessari per le operazioni statiche è stata stilata la distinta base delle possibili celle producibili con annesse tutte le caratteristiche necessarie per risalire alla quantità di ripetizioni di ogni azione.

Essendo un prodotto artigianale, quindi dove anche delle singole proprietà o prodotti possono cambiare a detta del cliente, si è voluto lasciare alcune peculiarità variabili, che di conseguenza comportano un cambiamento dei valori all'interno dello studio.

Questo è importante perché in questo modo si aggiungono nuove variabili che possono incidere sul risultato finale e lo studio di tesi può essere continuamente adattato e cambiato nel tempo senza pregiudicare il proprio funzionamento.

Nella tabella sottostante sono stati inseriti alcuni valori caratteristici dei componenti e della cella:

caratteristiche cella	valore	unità di misura
larghezza cella	1800	mm
lunghezza cella	3000	mm
fori sotto la cella	16	-
fori da allargare sotto cella	6	-
fori staffa copertura fili	2	-
viti serbatoio camion	2	-
mensole aggiuntive	4	-
...
fori angolari plastica	4	-
distanza viti ridella plastica	200	mm
fori alloggiamento gruppo frigo	12	-
fori staffa paraciclistica-barra paraciclistica	2	-
fori staffa paraciclistica-gruppo frigo	2	-
fori cavalletto cella	2	-

Tabella 4.2 - Caratteristiche variabili delle celle frigorifere

Data la determinazione della quantità di ogni caratteristica, è stato possibile andare ad analizzare le azioni in funzione delle proprietà della cella e, creando dei collegamenti su Excel, sono state determinate le ripetizioni di ogni operazione in funzione della distinta base del prodotto specifico.

Da come si vede dalla tabella, sono presenti sia valori adimensionali che valori nell'ordine di misura della distanza; questo perché alcune proprietà servono per sapere la quantità di ripetizioni (valori adimensionali) altre invece sono in funzione degli standard di lavorazione imposti dal responsabile di produzione.

Per esempio, la distanza che intercorre tra le viti è uno standard che consente di sapere di quante unità si hanno bisogno e quante ripetizioni si devono eseguire in funzione delle dimensioni della determinata cella da produrre senza abbondare nell'uso di alcuni prodotti.

Questo tipo di studio potrà avere un ruolo determinante anche in futuro per l'ufficio acquisti, poiché se nel determinare la cella si prefissano degli standard teorici e produttivi, si potrà conoscere direttamente la quantità dei prodotti necessari per quelle future e in media si potrà anche venire a conoscenza dell'usura degli strumenti conoscendo il tempo di utilizzo.

Per quanto riguarda il movimento dell'operatore è stato analizzato seguendo una metodologia ben precisa. Per iniziare sono state eseguite le misurazioni del layout aziendale (figura 4.2) nelle zone di interesse, prendendo come riferimento la coordinata (0;0) nell'angolo a sinistra in basso. I punti rilevanti per la lavorazione sono stati identificati tramite i baricentri di ogni macchina/postazione coinvolta. Invece, per le superfici d'appoggio molto ampie come gli scaffali, sono state divise in aree più piccole prendendo sempre i loro punti centrali come destinazioni.

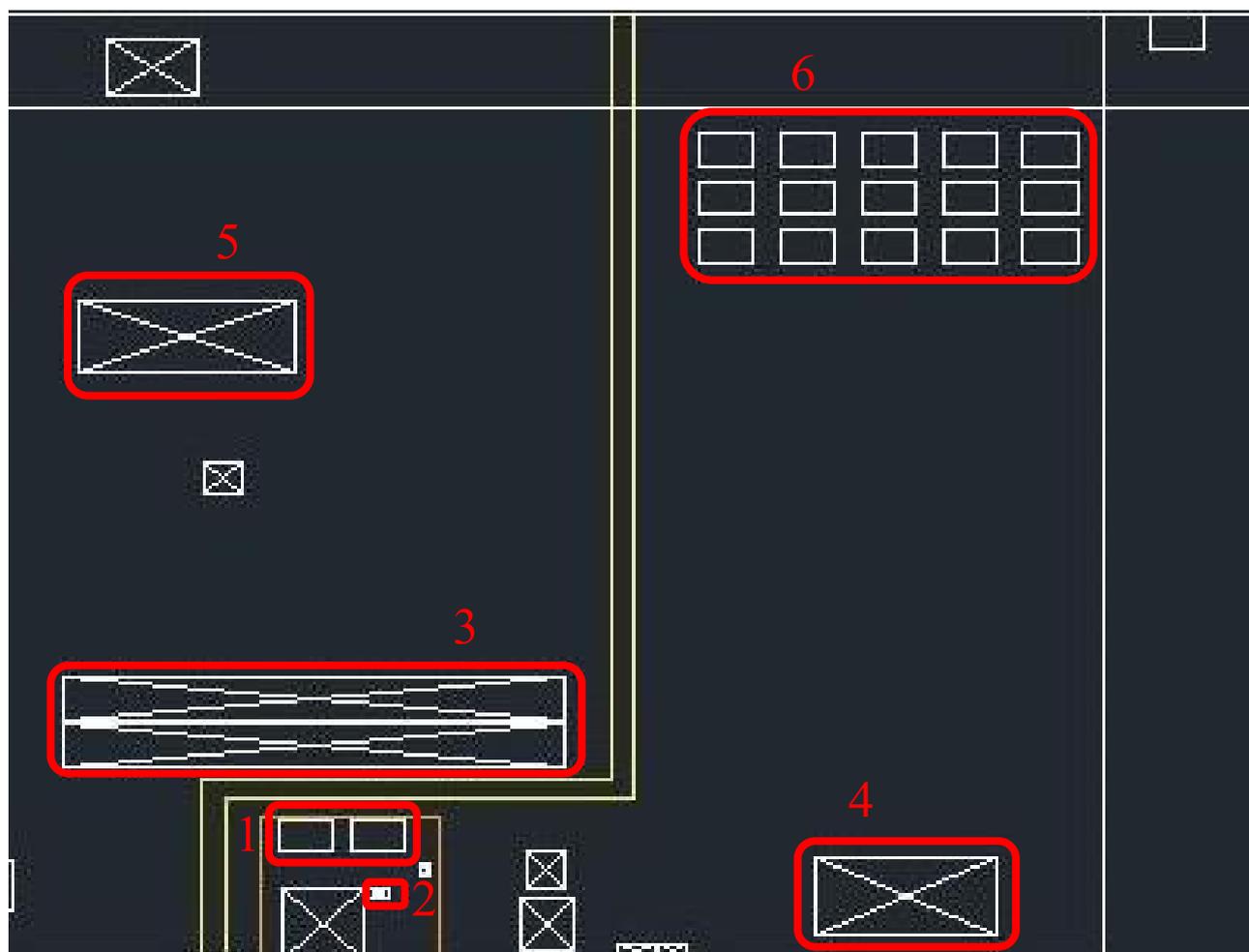


Figura 4.2 - Layout aziendale di interesse per la lavorazione

Nella figura 4.2 sono indicate le posizioni di maggiore interesse del processo:

1. Cella (a destra) e camion (a sinistra), dove avvengono le operazioni a valore aggiunto;
2. Banco di lavoro, area destinata per compiere alcune azioni ausiliarie;
3. Scaffali, zona di stoccaggio materiale;
- 4-5. Macchine per il taglio prodotti;
6. Buffer precedente al caricamento al carroponete.

Dopo aver identificato con cui compiere le misurazioni in officina sono stati studiati i posizionamenti iniziali di ogni strumento e prodotto. Inizialmente, i prodotti non erano allocati in postazioni apposite per la presa da parte dell'operatore ma erano collocati dove veniva stoccato il *packaging* al momento dell'arrivo del fornitore.

La tecnica usata per calcolare il movimento è in relazione alle posizioni delle operazioni di valore aggiunto compiute dall'operatore sulla cella e del percorso teorico che questo deve compiere dalla presa dello strumento/prodotto.

Per ottenere le distanze, si sono dovute identificare all'interno del *layout* le coordinate della cella di ogni azione a valore aggiunto e per fare questo si è creato uno standard apposito di riferimento.

La cella è stata fissata sul *layout* tramite il punto centrale del lato lungo inferiore che ha coordinate fisse. Dato che le dimensioni del prodotto refrigerato sono variabili e modificabili nella tabella corrispondente, le coordinate dei punti d'azione trasleranno in funzione dei valori inseriti. Una volta fissata la cella nel *layout*, è stata standardizzata anche la posizione del camion ad 1 m dalla cella, ipotizzando che sia la distanza ottimale per l'esecuzione delle possibili operazioni su di esso. Quindi anch'esso, nel sistema cartesiano varia rispettivamente alla tipologia di cella da assemblare.

Dopo aver identificato qualsiasi cella e camion virtuale all'interno del layout dell'officina, sono state standardizzate le posizioni statiche di valore aggiunto, che dipendono sia dalle caratteristiche inserite che dalla dimensione della cella.

Tramite Autocad si sono rappresentati i baricentri d'azione possibili sia sulla cella che sul camion.

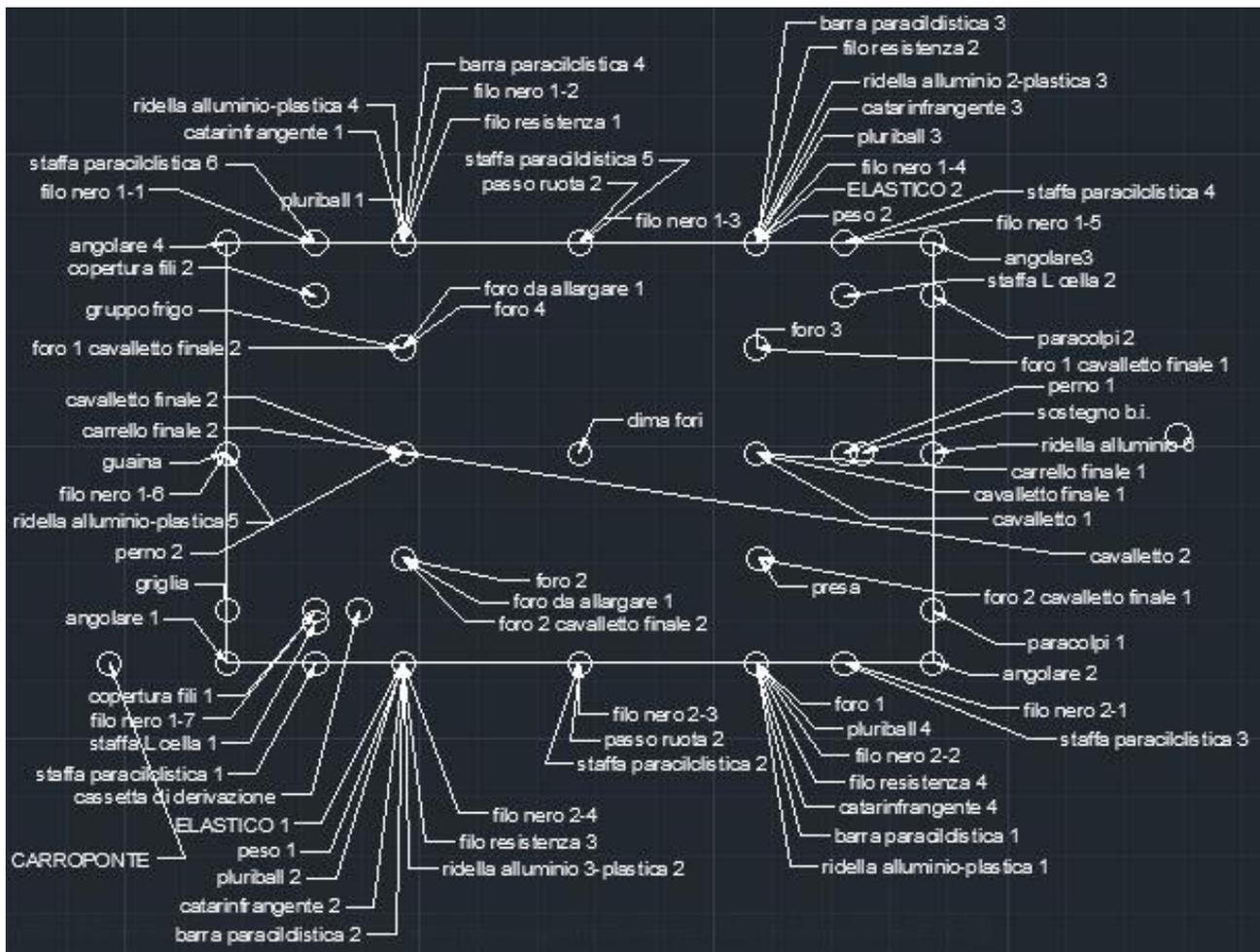


Figura 4.3 - Posizioni standard dei prodotti da assemblare sulla cella

Nello standard presente nelle figure 4.3 e 4.4 si è identificato per ogni componente il numero di assemblaggi standard e di conseguenza le posizioni delle operazioni da compiere sulla cella.

Dato che nella tabella 4.2 si è dato la possibilità di modificare le quantità dei componenti da inserire sulla cella a piacere, questo non inficia sulle posizioni di assemblaggio che rimangono immutate ma solamente sul tempo operativo.

Se all'interno della distinta base viene inserito un numero diverso da quello standard di prodotti da assemblare, l'operatore compirà sempre lo stesso movimento andando a lavorare nei punti prefissati della cella ma cambierà il tempo totale di lavorazione. Per esempio, per quanto riguarda le staffe paraciclistiche sono state standardizzate a 6 unità, ognuna delle quali assemblata in una coordinata puntuale del layout; se all'interno della tabella delle caratteristiche venissero introdotte 8 staffe, quindi 4 per lato, i punti di lavoro sul *layout* rimarrebbero immutati e in ognuno risulterebbe che il tempo di fissaggio della staffa è il tempo cronometrato per l'operazione moltiplicato per 8/6.

Le posizioni sono in relazione alle dimensioni della cella e delle distanze standard. Per quanto riguarda quelle azioni di assemblaggio di prodotti di piccole dimensioni e con ripetizione sempre uguale a 1, come la presa di ricarica, l'operazione avviene sempre nella stessa posizione e il punto identificato nel layout è molto specifico dato che la staffa possiede una superficie circa di 20 cm x 20 cm. Per il fissaggio invece di componenti di maggiore superficie come le ridelle, il calcolo del punto d'azione è più complicato. Infatti, viene approssimato nel centro del componente in posizione sulla cella.

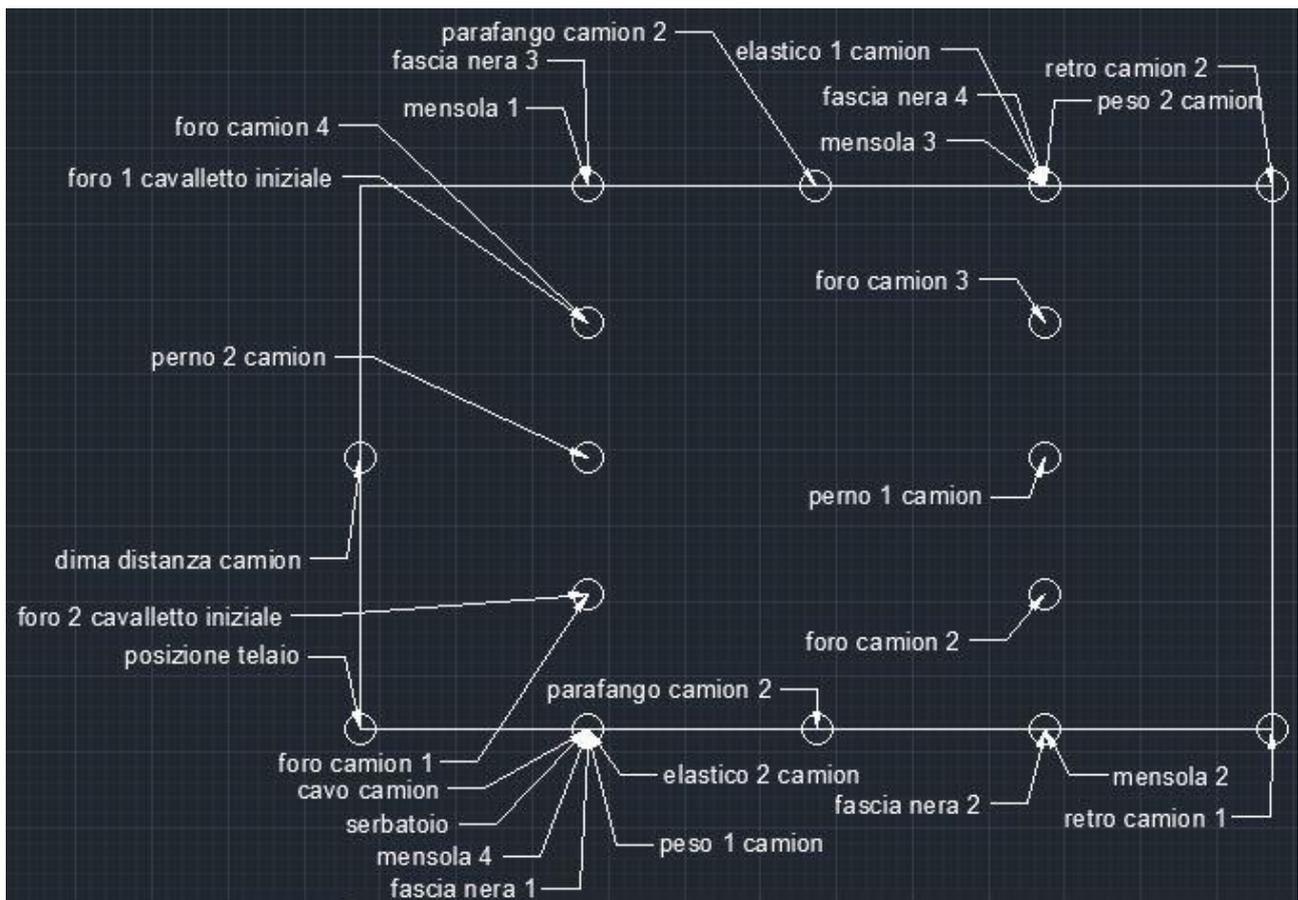


Figura 4.4 - Posizioni standard dei prodotti da assemblare sul camion

Per quanto riguarda il camion, il metodo di identificazione della posizione delle operazioni a valore aggiunto è uguale, con la particolarità che alcune azioni compiute su di esso sono in funzione di quelle sulla cella e quindi per identificare le coordinate di queste, sono state solamente traslate sull'asse delle x per la somma della lunghezza della cella e la sua distanza dall'alloggiamento del camion (standardizzata a 1 m).

Alcune operazioni, invece, sono state individuate in funzione dell'area del prodotto semifinito nella quale vengono compiute.

Per esempio, la cella viene sempre forata sul fondo con un range che va dalle 12 ai 24 ripetizioni; data la variabilità di questo numero, non è possibile fissare il punto esatto di ogni foro ma si sono approssimati i punti d'azione. Questi sono stati standardizzati in quattro coordinate, ricavate suddividendo la cella in quattro rettangoli uguali nel baricentro di ognuno. Quindi a ogni area sono eseguiti $\frac{1}{4}$ dei fori totali presenti nella tabella 4.2.

L'approssimazione è stata obbligata essendo variabile sia il numero di azioni che le coordinate delle operazioni, ma le approssimazioni sono risultate convincenti e si è preferito lasciare spazio alla customizzazione del prodotto.

Di seguito sono stati introdotti i valori delle posizioni dei punti d'azione standard identificate per ogni lavorazione a valore aggiunto all'interno della tabella 4.3.

posizioni standard	numero	x	y
postazione cella	1	19100	6000
posizione carroponte iniziale	2	18600	6000
messa elastico 1	3	19850	6000
messa elastico 2	4	21350	7800
messa peso 1	5	19850	6000
...
staffa 1 telaio cella 1	51	19475	6225
staffa 1 telaio cella 2	52	21725	7575
parafango camion 1	53	16600	7800
paracolpi 1	67	22100	6225
paracolpi 2	68	22100	7575
presa	69	21350	6450
catarifrangente 1	70	19850	7800
...
peso 1 camion	138	15850	6000
peso 2 camion	137	17350	7800

Tabella 4.3 - Valori delle coordinate delle operazioni standard sulla cella frigorifera

Nel foglio Excel le funzioni all'interno delle celle di calcolo delle coordinate e le quantità delle posizioni rimangono sempre costanti e non sono più modificabili, ma i valori all'interno cambiano in relazione della dimensione x-y della cella frigorifera.

Infatti, ognuna di queste posizioni è in funzione della lunghezza e larghezza della cella, le quali, se variate, comportano di conseguenza uno spostamento delle coordinate dei punti d'azione all'interno del layout.

Per esempio, le posizioni dei catarifrangenti, standardizzati a 4, sono a $\frac{1}{4}$ e a $\frac{3}{4}$ della lunghezza della cella e sapendo le coordinate della cella dovute all'approssimazione descritta precedentemente, è possibile ricavare le posizioni di ogni catarifrangente nel layout.

Di seguito invece è rappresentata la tabella con le coordinate dei punti dove ogni prodotto/strumento all'interno dell'officina.

posizioni standard	x (mm)	y (mm)
posizione ammortizzatore	10000	12000
posizione angolare	17000	12000
posizione angolare plastica	17000	12000
posizione avvitatore	20600	3750
...
posizione carrello iniziale	40000	40000
posizione coperchio presa	17500	2000
posizione copertura fili	24000	14600
posizione copertura	10000	12000
posizione cric	17500	2000
posizione lima	17500	2000
...
posizione staffa paraciclistica	17500	2000
posizione staffa retro camion	17000	14600
posizione staffa (parafango-cella)	17000	14600
posizione vite	20600	3750

Tabella 4.4 - Posizioni precedenti alla riallocazione materiale degli strumenti nel layout

Trovati tutti i dati precedenti si è iniziato a delineare il database inserendo per ogni azione, le posizioni iniziali e finali e i tempi netti di lavorazione.

Per ora si è analizzato solamente il processo netto, senza tener conto dei fattori correttivi che possono influire sulla lavorazione. Per rendere i risultati maggiormente simili a quelli reali, sono stati creati alcuni indici appositi, basandosi su scale di misura ad hoc in funzione delle caratteristiche operative. Iniziando dal movimento sono stati identificati due tipologie di KPI che influiscono sul valore temporale di spostamento dell'operatore nell'officina:

- Indice di peso;
- Indice di presa;
- Distanza.

La distanza è stata già calcolata tramite le coordinate presenti nel *database*, mentre gli altri due sono in funzione dei prodotti e degli strumenti con i quali l'operatore si deve spostare.

Il primo indice individuato è l'“indice di peso” che varia tra l'1, se il peso del materiale spostato è minore di 1,5 kg, a 3 per i prodotti con peso maggiore di 5 kg come descrive la tabella sottostante:

peso [kg]	indice di peso
< 1,5	1
1,5 <= 5	2
>5	3

Tabella 4.5 - Valori dell'indice di peso

A ogni valore del KPI corrisponderà un aumento percentuale che andrà ad aumentare il tempo di spostamento relativo solamente alla distanza e alla velocità media dell'operatore. Se non è presente nessun oggetto, il valore corrispondente sarà uguale a 0, non decretando nessun aumento di tempo, invece la presenza dei valori 1, 2 e 3 rispettivamente corrispondono ad un aumento percentuale del tempo di spostamento di 15, 30 e 45 %.

Successivamente è stato introdotto un “indice di presa” che si basa sullo stesso ragionamento precedente:

presa	indice di presa
facile	1
medio	2
difficile	3

Tabella 4.6 - Valore dell'indice di presa

Per i movimenti senza strumenti, l'azione non avrà nessuno dei due indici attivati quindi il loro valore sarà uguale a 0, mentre per quelli con la presenza di un oggetto, si avrà sempre un valore positivo. Questo indice, a differenza del primo, non si basa su valori analitici ma è in base alla forma del prodotto e alle condizioni al contorno della postazione, come l'altezza a cui l'operatore deve afferrarlo.

Anche questo indice varia da 1 a 3 e il suo valore determina un aumento percentuale del tempo delle operazioni dinamiche che va dal 10 % al 30 %.

Questo range di variazione più basso è dovuto al fatto che questo indice determina il risultato solo nel momento in cui l'operatore entra in contatto o rilascia l'oggetto e non sul completo spostamento come l'indice di peso.

Tramite queste scale, a ogni strumento sono stati dati i valori corrispondenti:

prodotto	indice di peso	indice di presa
Avvitatore	0,3	0,2
Barella	0,3	0,2
Catarifrangente	0,15	0,2
Chiave	0,15	0,1
staffa gruppo frigo barra paraciclistica	0,15	0,1
...
staffa barra paraciclistica	0,3	0,1
staffa presa	0,15	0,1
Telaio	0,45	0,3
gancio carroponte	0	0,1
componente b.i.	0,3	0,2
rondella ammortizzatrice	0,1	0,1

Tabella 4.7 - Valori degli indici secondari dell'indice di movimento per ogni prodotto

Tramite questi valori si è trovato l'indice primario di movimento totale calcolato come la somma pesata dei due ad un'unità.

$$\text{Indice di movimento} = 1 + \text{indice di peso} + \text{indice di presa}$$

Equazione 4.4 - Calcolo dell'indice di movimento

Data la formula proposta, si nota che i due KPI non sono uno in funzione dell'altro ma incidono singolarmente; infatti, è stato pensato ed analizzato che la presenza congiunta di questi due fattori non caratterizzasse un aumento maggiore della loro somma.

Inoltre, come si evince dalla formula, i due indici hanno peso uguale. Questo avviene perché si è già tenuto conto dei pesi nei valori dei diversi incrementi percentuali a cui viene sottoposto l'indice risultante.

Per quanto riguarda invece le azioni di spostamento con N prodotti, l'indice di movimento è dato dalla sommatoria degli indici puntuali degli N prodotti.

Un dato importante per il rilevamento del tempo di spostamento è la velocità media tenuta durante la lavorazione dall'operatore.

Questo valore è stato calcolato tramite la media delle velocità ottenute dalla rilevazione dei tempi ottenuti negli spostamenti dell'operatore su distanze ampie per il quale fosse facile cronometrare e identificare le misure.

Il calcolo ha dato come risultato che la velocità media si aggira sui 4,5-5 km/h, per i nostri calcoli si è preso 5 km/h.

Tramite i KPI individuati, la velocità media di spostamento e tenendo conto dell'”*Allowance Factor*”, prendendo spunto dal MOST, arrotondato al 20% a causa della durata elevata e delle difficoltà presenti della lavorazione, è stato possibile calcolare il tempo totale delle operazioni di “movimento” tramite la seguente formula:

$$\text{Tempo movimento} = \text{velocità media} * \text{distanza} * \text{indice di movimento totale} * \text{AF}$$

Equazione 4.5 - Calcolo del tempo delle operazioni dinamiche

Per quanto riguarda gli strumenti di analisi, si è invece adottata una tabella Excel disposta in modo coerente con i risultati e lo studio di lavorazione.

La tabella è formata da 2147 righe dove ognuna di queste corrisponde ad un'operazione che è numerata tramite una fase, un'attività e un'azione così da poter identificare velocemente le azioni da analizzare all'interno dell'intero processo.

Ogni azione incrocia ben 90 colonne che corrispondono ognuna ad uno strumento/prodotto e le celle d'incrocio tra le operazioni e i componenti sono tutte con un valore binario (0 o 1) che identifica la presenza o no dello strumento all'interno di ogni operazione.

fase	attività	azione	nome	avvitatore	barella	...	mola	muletto	componente b.i.	rondella	valore aggiunto	cella
1	1	1	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	7	allargare	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	4	8	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...	...	...	...	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	16	3	unire	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	1	2	movimento	0	0	0	0	1	0	0	0	0
...	...	...	...	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	4	5	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	5	1	movimento	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	5	2	tagliare	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	6	1	tagliare	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	6	2	movimento	0	0	0	1	0	0	0	0	0
...	...	...	movimento	0	0	0	0	1	0	0	0	0
30	1	1	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1	2	movimento	0	0	0	0	1	0	0	0	0
...	...	...	movimento	0	0	0	0	1	0	0	0	0
30	2	4	avvitare	1	0	0	0	0	0	0	1	1
...	...	...	movimento	1	0	0	0	0	0	0	0	0
33	4	5	avvitare	1	1	0	0	0	0	1	1	1
33	4	7	avvitare	1	1	0	0	0	0	1	1	1
33	7	2	movimento	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabella 4.8 - Modalità di analisi delle operazioni in funzione degli strumenti e prodotti (database ad hoc)

Per l'azione di movimento se la riga presenta tutti zeri, l'operatore non tiene nessuno strumento in mano durante lo spostamento, se invece presenta alcuni valori unitari vuol dire che trasporta il materiale corrispondente durante l'operazione caratteristica.

Per le azioni invece diverse dallo spostamento possono essere presenti N “uno” strumenti e M “uno” prodotti sulla riga che determinano con quali attrezzi e con cosa creano valore durante l’operazione statica corrispondente.

In questo modo è stato possibile avere anche dei risultati in funzione del materiale movimentato durante la lavorazione, perché se attivato, di conseguenza influirà sui fattori correttivi tramite alcune funzioni create appositamente in Excel.

Nei prodotti compaiono anche la cella e il camion che sono i punti fissi su cui si aggiunge valore, tramite i quali si possono identificare le operazioni a valore aggiunto sui prodotti finali filtrando la tabella con i loro valori unitari e togliendo le operazioni di “movimento”.

Ogni azione ha una coordinata iniziale e una finale sul *layout*; la prima è stata posta, tramite la funzione di uguaglianza, pari alla seconda della riga precedente poiché lo spostamento dell’operatore deve essere un flusso continuo. Un problema che può sorgere all’interno del database è la dimenticanza di un oggetto nel layout data la complessità e lunghezza del processo di lavorazione ma tramite l’applicazione del solo filtro “valore = 1” per ogni strumento/prodotto è possibile vedere tutto il percorso dell’oggetto nella lavorazione che, per ogni strumento deve iniziare e finire nella posizione di ritiro e per ogni prodotto da assemblare alla cella, deve finire nelle coordinate a valore aggiunto esatte.

A destra delle colonne occupate dal materiale sono state aggiunte le colonne relative alle coordinate iniziali e finali di ogni azione:

macro	id attività	id azione	posizione 1	posizione 2
1	1	1	inizio 1	posizione macchina pulitrice
1	1	2	posizione macchina pulitrice	114
...
7	1	2	posizione muletto	posizione telaio
7	1	3	posizione telaio	41
...
11	4	4	55	55
11	4	5	55	25
...
33	7	1	22	posizione lavorazione successiva
33	7	2	posizione lavorazione successiva	inizio 1

Tabella 4.9 - Modalità di gestione dei movimenti dell'operatore (Database ad hoc)

Questo crea una mappa teorica sia dello spostamento dell'operatore che degli strumenti con i quali entra in possesso.

A questo punto, potendo attivare e disattivare ogni oggetto nel database, è facile trovare il tempo del movimento dell'operatore in funzione dell'indice di movimento calcolato sulla base del prodotto con valore unitario.

Essendoci solo 0 e 1, è stato possibile creare una tabella di collegamento composta dagli strumenti e prodotti con la stessa disposizione del materiale presente nel database con i valori percentuali aggiuntivi e trovare i risultati tramite la funzione di matrice somma prodotto, considerato che i valori nulli danno altrettanto risultati ininfluenti.

Un altro aspetto che si è voluto analizzare oltre agli spostamenti e la cronometria è stato l'aspetto psicofisico dell'operatore.

Per approcciare lo studio dell'ergonomia dell'operatore è stato preso come riferimento il sistema Ergo-UAS. Questo metodo adottato anche da Fiat Chrysler è una metodologia che tratta il conseguimento di standard produttivi e tiene conto delle condizioni psico-fisiche degli operatori. Questo sistema insieme ad altri accorgimenti nella produzione aiuta ad aumentare la competitività e il benessere dei lavoratori nell'azienda.

Questa tecnica consente, oltre che ad ottenere i tempi di lavorazione, anche a ricavare i carichi di lavoro in funzione alle loro tempistiche tenendo conto di un rendimento base normativo più maggiorazioni dovute alle debite pause di recupero. Quindi non si tiene più solo conto dei recuperi fisiologici o tecnico-organizzativi, ma anche di quelli in relazione al rischio ergonomico dell'operatore.

Il metodo si divide in due parti:

1. UAS-MTM: rilevazione tempi standard base;
2. EAWS (*European Assembly Worksheet*).

All'interno dello studio di tesi, è stata presa in considerazione la seconda parte per mettere in discussione il nostro metodo dal punto di vista ergonomico. Questo sistema analizza il processo di lavorazione valutando i possibili rischi di contrarre patologie muscolo-scheletriche per l'operatore.

È di rilevante importanza valutare la sicurezza nel posto di lavoro poiché le risorse umane sono coloro che consentono la trasformazione del prodotto finito e bisogna tutelarli e metterli in condizione di farlo al meglio. Inoltre, il datore di lavoro è colui che ha il compito di valutarli e deve essere a conoscenza di tutti i rischi ergonomici dovuti al carico biomeccanico degli operatori valutando vibrazioni, forze da applicare, sforzi dinamici e statici e le condizioni di lavoro a cui sono sottoposti. Il metodo è in pratica una *checklist* dei rischi presenti che identifica i pericoli per la salute degli operatori analizzando tutta la sequenza delle operazioni secondo cinque possibili cause di affaticamento fisico: vibrazioni dovute a lavorazioni extra, le posture tenute durante la lavorazione, il livello di forza applicato, lo spostamento manuale dei carichi e la ripetizione di movimenti degli arti superiori. Sui primi quattro fattori verte lo studio ergonomico della postazione al carroponte poiché l'ultima causa indicata viene meno all'interno del database ad hoc elaborato, poiché non ci sono operazioni che compongono sequenze ripetitive lunghe ma sono maggiormente corte e formate da operazioni differenti.

Prendendo spunto dallo studio precedente, si sono creati alcuni indici in funzione dei tempi, del materiale e dell'osservazione diretta delle operazioni presenti nella lavorazione e sono stati applicati con alcune regole su ciascuna delle 2147 righe della tabella.

Per questo studio ergonomico sono state analizzate le azioni dinamiche e quelle statiche definendo due indici distinti per poi ricavare un indice primario in funzione di essi.

Per le azioni "statiche" sono stati valutati tre fattori:

- Il tempo nel quale l'operatore compie l'azione senza cambiare la postura;
- La forza che deve compiere per eseguire un'azione;
- Le vibrazioni (se presenti) alle quali è sottoposto.

Questi sono stati valutati tramite determinate scale studiate in funzione del fattore di rischio relativo. L'indice posturale è basato su dati sperimentali diversamente da quello di forza che è stato individuato per mezzo dall'osservazione visiva delle operazioni e di una valutazione soggettiva. Invece l'indice extra è stato calcolato filtrando solamente quelle righe con all'interno le lavorazioni che sottopongono l'operatore a vibrazioni come la foratura e la filettatura. Una volta ottenute le azioni corrette si è poi calcolato l'indice in funzione del loro tempo operativo.

Range temporale	indice posturale
0 s	1
$0 < t < 20$ s	$t * 3 / 20 + 1$
> 20 s	4

Tabella 4.10 - Valori dell'indice posturale

forza necessaria	indice di forza
Nulla	1
Bassa	2
Media	3
Alta	4

Tabella 4.11 - Valori dell'indice di forza

Range temporale vibrazioni	indice extra
0 s	1
$0 < t < 15$ s	$t * 3 / 15 + 1$
> 15	4

Tabella 4.12 - Valori dell'indice di vibrazione

Come si vede dalle tabelle, sono scale tutte comprese da 1, quando l'effetto dell'indice è nullo, a 4, che è il massimo valore che può risultare.

Per gli indici calcolati sulla base dei valori temporali del database, si è valutato che l'effetto del tempo fosse di tipo lineare e che avesse un limite per il quale, una volta superato, l'impatto rimanesse massimo.

Avendo ottenuto questi tre indici, rappresentanti le maggiori cause di sforzi presenti nelle operazioni da “fermo”, si è andato a calcolare un indice che potesse aggregarli in uno solo, identificato come statico e calcolato con la seguente formula:

$$\text{indice statico ergonomico} = i. \text{ posturale} * i. \text{ di forza} * i. \text{ extra} / 2$$

Tabella 4.13 - Calcolo dell'indice ergonomico statico

Questo indice è calcolato tramite un prodotto dei KPI analizzati precedentemente perché, essendo tutti valori positivi, se alcuni fattori sono presenti in contemporanea nella stessa azione, l’effetto che hanno sull’operatore non è solamente la somma di essi ma è presente anche una maggiorazione data dalla combinazione dei valori.

Si può notare che questo indice varia tra 0,5 e 16 ed è sempre positivo.

Per quanto riguarda invece l’indice dinamico ergonomico”, sono state analizzate le variabili di distanza e di peso delle operazioni di spostamento dell’addetto. Queste due variabili sono basate su dati sperimentali che, come l’indice posturale e quello extra, dopo aver fissato le scale di misura, sono ottenibili direttamente dai valori presenti nel database.

L’indice di distanza è stato calcolato tramite le regole presenti nella seguente tabella:

distanza(mm)	Indice di distanza
0	1
0<x>6000	$x*7/6000+1$
>6000	8

Tabella 4.14 - Valori dell'indice di distanza

Questo indice è stato calcolato tramite una funzione lineare di distanza con un range compreso tra 1 e 8 ponendo un valore massimo di spostamento (6 m) oltre il quale l’impatto insito nel KPI rimanga costante.

L’indice di peso si basa sullo stesso ragionamento riguardante il fattore correttivo dei tempi di spostamento ma la scala appropriata è stata valutata in modo diverso dato che anche gli oggetti leggeri influiscono sullo sforzo dell’operatore:

peso [kg]	indice di peso
0	1
< 1,5	2
1,5 <> 3	4
3 <> 5	6
>5	8

Tabella 4.15 - Valori dell'indice di peso

Questi due fattori incidono contemporaneamente sull'indice dinamico ergonomico che è calcolato con la seguente formula:

$$\text{indice dinamico ergonomico} = \text{indice di distanza} * \text{indice di peso} / 2$$

Equazione 4.6 - Calcolo dell'indice ergonomico dinamico

Come si evince da questa analisi dei KPI sono presenti cinque indici terziari rilevati tramite i dati analitici presenti nel database e sperimentali:

1. Indice posturale;
2. Indice di forza;
3. Indice extra;
4. Indice di distanza;
5. Indice di peso.

In funzione di questi vengono creati due indici secondari che descrivono separatamente le operazioni statiche e quelle di spostamento:

1. Indice statico;
2. Indice dinamico.

Trovati questi due KPI che hanno due range di valori uguali, da 0,5 a 16, è possibile trovare l'indice primario detto "indice ergonomico" tramite la seguente funzione:

$$\text{indice ergonomico} = \max(\text{indice statico}, \text{indice dinamico})$$

Equazione 4.7 - Calcolo dell'indice ergonomico

5 OTTIMIZZAZIONE DELLA POSTAZIONE DI LAVORO

Tramite l'individuazione dei valori analitici dei fattori incidenti sulla lavorazione, è stato possibile iniziare ad analizzare i risultati ottimizzando il processo.

Inizialmente si sono individuate quelle azioni che non apportavano valore aggiunto o che potevano essere sostituite con operazioni correttive. Queste sono state eliminate o sostituite migliorando così il processo base iniziale.

Successivamente si sono analizzati i dati e si è visto come le azioni di “movimento” avevano un impatto decisamente alto sulla lavorazione totale e sui risultati. Sapendo che lo spostamento dell'operatore non crea valore aggiunto, essendo uno dei *muda* individuati dal *Toyota Production System*, incidendo negativamente sul tempo ciclo, si è deciso di intervenire su questo fattore cercando di diminuirlo.

Dai risultati iniziali si è visto come la percentuale di tempo occupato dallo spostamento dell'operatore nella totalità delle fasi sia superiore al 25% di quello totale, dato allarmante che evidenzia l'inefficienza iniziale della postazione.

Somma di tempo movimento	Somma di tempo azione	%
10785,13	42148,36	25,6%

Tabella 5.1 - Quantità di tempo speso nello spostamento rispetto a quello totale di lavorazione

Secondo la *lean production*, il pilastro su cui fare leva per combattere l'inefficienza data dallo spostamento inutile in produzione è la *Workplace Organization* che corrisponde all'organizzazione del lavoro.

Un altro insegnamento su cui si basa la nostra tecnica di ottimizzazione del lavoro è la parola “*Seiton*”, che è una delle 5s della filosofia giapponese che significa riordinare.

Questa è una tecnica tanto veloce quanto importante per la buona progettazione di una postazione di lavoro, essa determina un “posto” per ogni oggetto per standardizzare la lavorazione ma anche per avere benefici sull'ufficio acquisti poiché si ha sempre ben presente quali siano le scorte di ogni prodotto da dover riordinare.

Seguendo questi due concetti base si è deciso di ricollocare gli strumenti e i prodotti in officina in modo tale da minimizzare gli spostamenti dell'operatore durante la fase di lavorazione.

Tramite gli indici individuati precedentemente è stato possibile anche avere dei riscontri numerici sul miglioramento ottenuto dall'applicazione del metodo.

Per far questo lavoro bisogna riordinare la postazione cercando di definire le locazioni iniziali migliori per ogni oggetto, aspetto già visto precedentemente dove però le posizioni del materiale erano in funzione dello stoccaggio generale e non della work station.

Per riordinare la zona di lavoro, alcuni fattori tecnici sono stati trascurati, tra questi è presente anche la posizione di ricarica degli strumenti perché era di difficile interpretazione nello studio dato che l'uso era una variabile di tipo aleatorio.

Inoltre, sono presenti prodotti che non possono essere spostati perché presentano posizioni fisse nel layout a causa delle loro tipologie di installazioni e questi non sono rientrati nello studio ma solo nei risultati finali.

Tenendo conto delle approssimazioni del caso, il primo obiettivo è stato quello di individuare il baricentro d'azione pesato sul tempo delle operazioni a valore aggiunto di ogni strumento e prodotto facenti parte del database. Questo è stato analizzato per riuscire a visionare quale fosse il fulcro dell'area operativa di ognuno dei prodotti e degli strumenti utili per la lavorazione per poi riallocarli più vicini possibile.

Questo è stato ottenuto tramite tabelle pivot di questo tipo eseguita per ogni strumento:

prodotto	Media di x1	Media di y1	Max % macro	azioni prodotto
1	17984,26	6941,67	0,5	54
azione				
avvitare	avvitare	movimento	svitare	
abbassare	accoppiare	allargare	alzare	
battere	chiudere	coinvolgiare	controllare	
filettare	forare	graffettare	incollare	
inserire	limare	mettere	misurare	

Figura 5.1 - Tabella pivot per la determinazione della gerarchia di posizionamento dei prodotti e degli strumenti

Per ogni oggetto si sono trovati questi quattro risultati:

- 1- x del baricentro pesato dello strumento o prodotto;
- 2- y del baricentro dello strumento o prodotto;
- 3- la massima percentuale di accadimento tra le fasi in cui è presente il prodotto, questo dato è importante per capire la sua frequenza d'uso;
- 4- la quantità di azioni nel quale è stato coinvolto quel prodotto.

Come si vede dalla figura 5.1, le azioni sono state filtrate tramite la cancellazione delle azioni di movimento per evidenziare esclusivamente le operazioni per le quali gli strumenti e prodotti sono utili nella trasformazione della cella semifinita a finita.

Di seguito è stata ottenuta la seguente tabella raffigurante per ogni prodotto le coordinate risultanti del baricentro pesato d'azione a valore aggiunto.

prodotto	media di x(mm)	media di y(mm)
adesivo	20600	3750
...
angolare plastica	20404,35	6860,87
avvitatore	17984,26	6941,67
barella	16600	6900
barra paraciclistica	20277,78	7420,83

Tabella 5.2 - Coordinate dei baricentri d'azione dei prodotti e degli strumenti

Inoltre, per ogni oggetto, ipotizzando di avere una disponibilità mensile, si è individuata la dimensione del *packaging* di appoggio, così da identificare i vincoli superficiali entro i quali restare per collocare i prodotti nelle posizioni possibili.

Per comprendere la quantità di materiale utile in un mese, sono stati individuati quali e quanti componenti in media erano presenti in ogni fase e conoscendo sia le probabilità di accadimento di queste sia le richieste dei clienti, è stato possibile risalire alla quantità di componenti necessari per la produzione mensile.

Dati questi valori, il passo successivo è stato trovare le posizioni d'appoggio possibili del materiale che permettessero di diminuire lo spostamento dell'operatore cercando di farlo rimanere il più possibile all'interno della *golden zone*.

Si è agito seguendo la regola della filosofia giapponese chiamata *Seiso*. Infatti, la postazione è stata riordinata per poter osservare meglio le inefficienze strutturali e grazie a questo lavoro, si è notato che vicino al banco della *work station*, era presente una zona con del materiale inutile per l'assemblaggio al carroponte ma che poteva essere perfetta per il posizionamento dei prodotti necessari.

Questa è stata aggiunta alle altre due possibili soluzioni già presenti: il banco di lavoro, il quale si è deciso solo di destinare gli oggetti appendibili poiché la sua superficie deve essere usata come zona adibita per le lavorazioni ausiliarie, e gli scaffali, che sono in linea d'aria più lontani dalla cella

rispetto al banco e la nuova postazione, ma consentono di allocare materiale con maggior area d'appoggio.

Un'altra soluzione interessante studiata appositamente per questo tipo di lavorazione è l'aggiunta di contenitori ai cavalletti iniziali. Questi cavalletti, che danno stabilità alla cella legata al carro ponte, dall'analisi del database precedente, compiono solo due spostamenti: uno nella fase iniziale dalla loro posizione a quella sotto la cella e uno opposto nell'ultima fase.

Dati i pochi spostamenti e l'indice di peso non massimo, sono stati aggiunti due cestelli per ognuno dove poter appoggiare materiale di piccole dimensioni ma anche appendere strumenti non pesanti. Questa soluzione avvicina di molto gli strumenti al baricentro teorico della cella poiché la posizione di questi vani dista dal baricentro della cella circa $\frac{1}{4}$ della sua lunghezza.

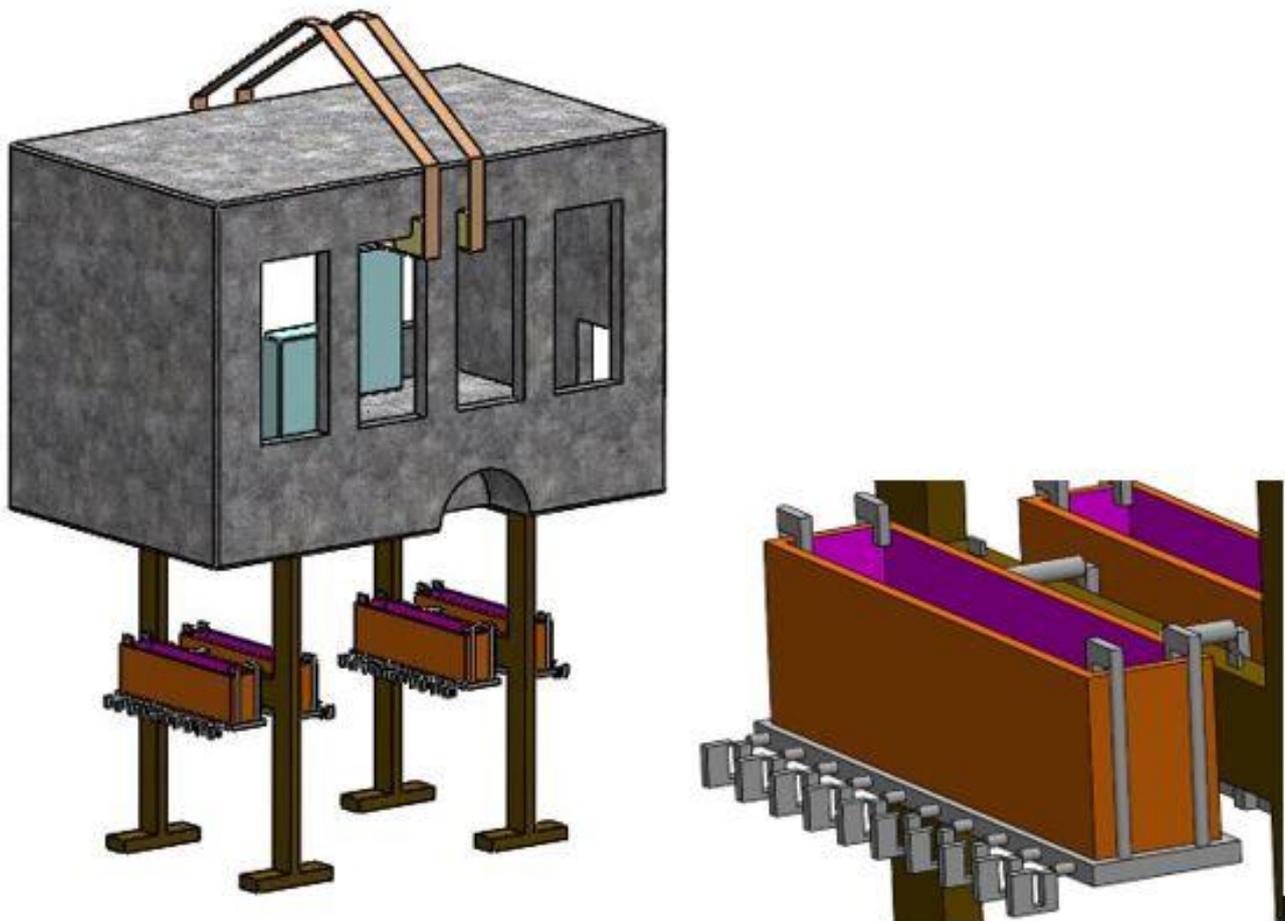


Figura 5.2 - Rappresentazione della progettazione dei vani sui carrelli

Trovate le postazioni disponibili si è iniziato con la definizione della gerarchia di ricollocazione degli oggetti spostabili in funzione della loro dimensione e dei loro baricentri d'azione. L'ordine di importanza per la distribuzione si basa su un KPI definito "indice di collocamento" che è uguale al

prodotto tra la massima percentuale di accadimento della fase nel quale è presente il prodotto e il rapporto tra il numero di azioni compiute da questo e il numero massimo di operazioni eseguite da un singolo strumento/prodotto.

L'indice è stato calcolato in questo modo perché si è dato importanza sia al numero di volte che lo strumento viene utilizzato ma anche in funzione della probabilità d'uso dello strumento o del prodotto. Infatti, non basta sapere quante sono le ripetizioni di utilizzo del materiale all'interno della lavorazione ma anche, nella realtà, quante volte si verificano nel tempo.

Questo valore sarà sempre compreso tra 0 e 1 dato che i valori moltiplicati sono anch'essi contenuti in questo range. Così si ottiene la tabella seguente dove sono presenti i 90 oggetti con le loro caratteristiche calcolate:

ID	nome	max (%)	n° azioni	indice di collocamento
29	trapano	1	198	1
98	vite	1	67	0,338
81	rondella	0,5	47	0,119
24	rivettatrice	0,5	40	0,101
17	matita	1	19	0,096
40	barra paraciclistica	0,5	36	0,091
79	ridella plastica	0,33	53	0,089
12	lima	0,33	1	0,002

Tabella 5.3 - Indice di collocamento degli strumenti e dei prodotti

Per ogni strumento o prodotto, si sono trovate le distanze tra i punti baricentrici d'azione e le posizioni possibili di collocamento, evidenziando in un secondo momento (in giallo) quella minore.

ID	prodotto	distanza cavalletto 1	distanza cavalletto 2	distanza banco	distanza postazione	distanza scaffali
29	trapano	1280	270	3051	5409	6756
98	Vite	1008	500	3087	5602	6826
...
17	matita	712	791	3103	5780	6853
...
12	lima	3238	3238	0	3560	3750

Tabella 5.4 - Distanza dai baricentri d'azione dei prodotti e strumenti alle possibili posizioni di collocamento

Alcuni prodotti come la lima, da esempio, vengono usati solamente sul banco e questo comporta che la distanza minore sia nulla.

Una volta riconosciute le postazioni ottime per ogni oggetto, si è analizzata, rispetto ai vincoli di grandezza e proprietà del prodotto, la possibilità di collocamento nella posizione migliore.

Questo passaggio è stato possibile tramite una tabella, nella quale ogni oggetto è stato studiato secondo le sue caratteristiche:

ID	prodotto	appendibile	possibilità cavalletti	possibilità banco	possibilità postazione
29	trapano	1	1	1	1
98	vite	0	1	1	1
59	filo	0	0	1	1
78	ridella alluminio	0	0	0	0
40	barra paraciclistica	0	0	0	0
...
12	lima	1	1	1	1

Tabella 5.5 - Caratteristiche di posizionamento del materiale

La tabella presenta nelle righe i vari oggetti presi in considerazione mentre nelle colonne vengono evidenziate le peculiarità corrispondenti.

Da questa tabella si nota che ci sono strumenti, come il trapano, che possiedono tutte le caratteristiche presenti, facilmente collocabili, e invece prodotti come la ridella e la barra paraciclistica che non ne hanno nemmeno una.

Per ogni postazione di collocamento sono state identificate delle aree massime di posizionamento che non possono essere superate per garantire che non si posizioni troppo materiale all'interno delle varie postazioni.

Per ogni oggetto, date le caratteristiche, sono state eliminate le posizioni non possibili e le restanti sono state messe in ordine di vicinanza.

Una volta determinate, per ogni articolo, la gerarchia di collocamento e le possibili posizioni in ordine di preferenza, si è iniziato a collocare i componenti nelle posizioni migliori possibili rispettando il vincolo dell'occupazione delle postazioni.

ID	prodotto	dimensione x	dimensione y	postazione finale	posizione x	posizione y
29	trapano	190	203	cavalletto 2	19850	6900
...
59	filo	400	400	banco	20600	3750
...
78	ridella alluminio	4000	400	scaffali	17000	12000
...
76	pluriball	150	200	cavalletto 1	21350	6900
...
12	lima	150	16	banco	20600	3750

Tabella 5.6 - Determinazione delle posizioni iniziali successive allo studio

Come si vede dalla tabella sopra, sono presenti le aree d'appoggio del packaging da allocare per ogni prodotto che devono essere sottratte alla postazione su cui viene posizionato. Eseguendo i calcoli si sono trovate le posizioni di ogni prodotto successive all'applicazione del metodo.

Il trapano, avendo tutte le proprietà di collocamento, è stato posizionato nella posizione ottima tra le cinque proposte, ma ci sono stati oggetti che sono stati collocati in posizioni di seconda o terza scelta o per la mancanza di caratteristiche di posizionamento o per la presenza nella postazione ottima di un altro strumento.

Trovate le nuove posizioni del materiale in officina, si è iniziata a valutare la situazione dopo l'applicazione del metodo e prima del suo utilizzo.

Si sono calcolate le distanze tra la posizione successiva e precedente la ricollocazione per ogni articolo, riportandole secondo un grafico a linee, con ascissa il numero identificativo del prodotto e sulle ordinate la distanza in metri.

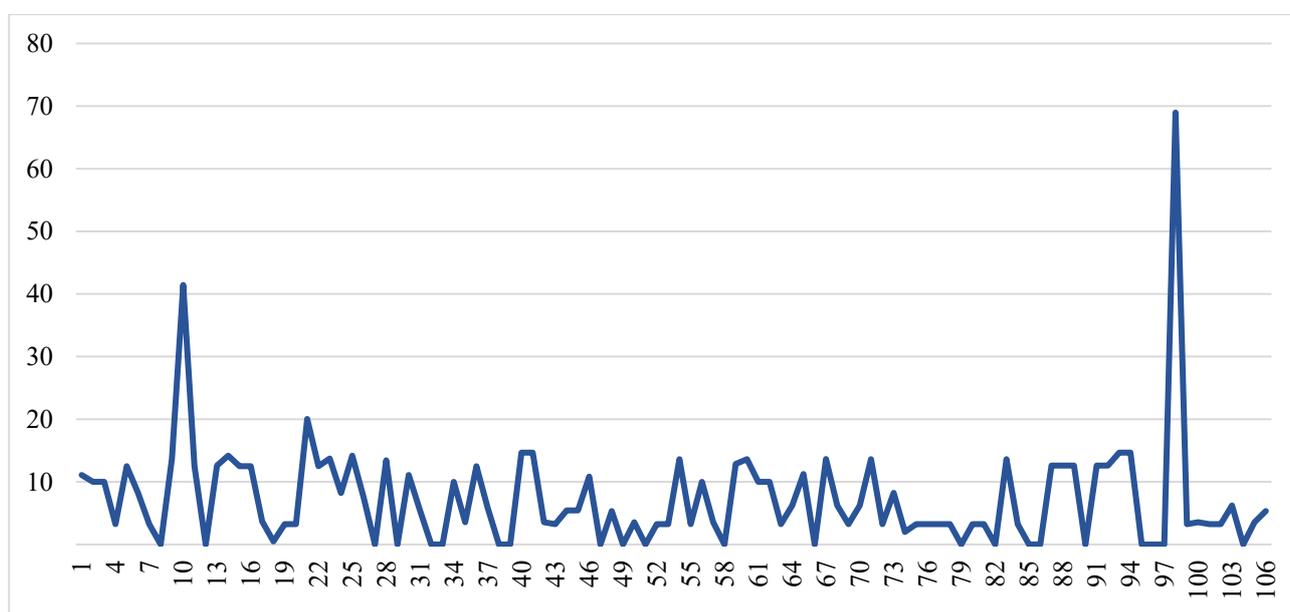


Figura 5.3 - Distanze tra la posizione iniziale successiva e precedente allo studio dei prodotti e degli strumenti

Tramite la linea si nota che alcuni componenti erano lontani dalla posizione ottimale, ricavando una media di spostamento uguale a 7,356 metri; tra i valori presenti si evidenziano due picchi molto alti che sono rappresentati dal “carrello iniziale” con cui arriva la cella dalla lavorazione precedente e il falso telaio.

Per questi due prodotti sono state applicate due soluzioni specifiche per diminuire il loro tempo di spostamento. Per quanto riguarda il carrello, l'operatore, una volta messa in posizione la cella, lo dovrà lasciare in una posizione adibita vicino alla *work station* senza attraversare l'officina, lasciando il compito ad un'altra risorsa. Invece, il falso telaio, appena arrivato in stabilimento, verrà già sistemato in posizione sul camion corrispondente, così da evitare la perdita di tempo dovuta alla ricerca del falso telaio e lo spostamento con il muletto.

Una volta visualizzate le differenze delle posizioni del materiale, sono stati valutati i reali benefici che ha comportato il metodo nelle singole fasi di lavorazione.

Per visualizzare il discostamento tra le distanze tra le posizioni dei prodotti e dei relativi baricentri d'azione prima e dopo l'applicazione del metodo, si sono inseriti alcuni valori, quelli che si discostano maggiormente dalla media, sia migliorativi (negativi) che peggiorativi (positivi) all'interno dell'istogramma seguente:

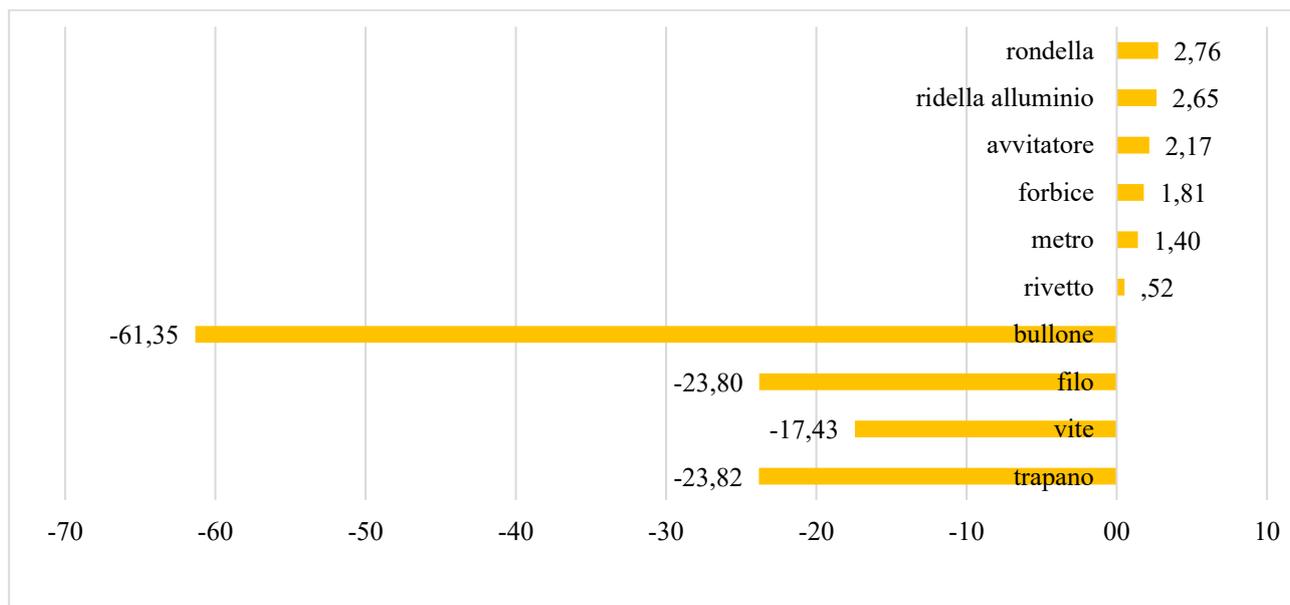


Figura 5.4 - Scostamenti delle distanze dalla posizione iniziale al baricentro d'azione dei prodotti e strumenti prima e dopo la ricollocazione (Valori più significativi)

I valori negativi evidenziano delle diminuzioni delle distanze degli oggetti dal baricentro e quelle positive invece degli allontanamenti.

Sono presenti valori positivi poiché la redistribuzione applicata è un metodo ottimale e non ottimo, essendoci dei vincoli ai quali bisogna sottostare, l'obiettivo è quello di migliorare nell'insieme la lavorazione, analizzando la totalità delle operazioni in funzione anche dei pesi che possiedono.

Infatti, la media totale di distanza tra strumenti e punti d'azione è di -4,35 m con un importante miglioramento della distribuzione degli oggetti maggiormente necessari.

L'andamento totale degli scostamenti invece è stato descritto dal grafico sottostante che certifica nell'insieme un buon risultato di redistribuzione:



Figura 5.5 - Scostamenti delle distanze in m dalla posizione iniziale al baricentro d'azione dei prodotti e strumenti prima e dopo la ricollocazione

5.1 RISULTATI

In questo capitolo si analizzeranno in generale i risultati all'interno delle fasi puntuali e della lavorazione totale in relazione ai fattori calcolati nel database precedente: ergonomia, tempo e spazio. Per avere valori coerenti, sono state standardizzate le caratteristiche del prodotto cercando di applicare le proprietà maggiormente presenti nelle celle frigorifere standard.

È bastato inserire in Excel i nuovi valori delle nuove coordinate delle posizioni dei prodotti nella tabella caratteristica e tramite i collegamenti precedentemente creati, i risultati sono stati aggiornati automaticamente all'interno del database.

5.1.1 RISULTATI ERGONOMIA

Per il fattore ergonomico è stato analizzato l'indice primario calcolato nella sezione precedente. Dato che i valori risultanti erano tra 0,5 e 16 si è deciso di dividere il *range* massimo in quattro classi equidistanti contenenti quattro unità ciascuna che equivalgono a:

- 0→4, sforzo molto basso
- 4→8, sforzo basso
- 8→12, sforzo medio

- 12→16, sforzo alto.

La situazione successiva alla ricollocazione del materiale è definita dalla seguente tabella dove i valori presenti nelle celle corrispondono al conteggio delle azioni aventi l'indice presente nel *range* indicato nella colonna:

indice	0-4	4-8	8-12	12-16
1	35	8		2
2	29	4		
...
8	64			11
9	84	5		13
10	22	1		
...
19	111	5		
20	25			
21	19			
22	48			
23	16			
24	60			
25	59	1		
26	178	3	1	15
27	51			1
28	113	2		
29	60		2	8
30	56	5	1	10
31	49	5		8
32	51	5		8
33	47	4		8
Σ	1960	64	10	112

Tabella 5.7 - Conteggio delle azioni aventi indice ergonomico all'interno dei range

Dalla tabella è possibile visualizzare per ogni fase la quantità dei diversi sforzi presenti nella stessa.

Inoltre, nella riga finale, sono presenti i conteggi totali delle operazioni che determinano la difficoltà generale dell'insieme delle fasi applicabili.

Di seguito è stato rappresentato un diagramma a torta dove sono stati riportati anche i valori percentuali dei *range* presenti:

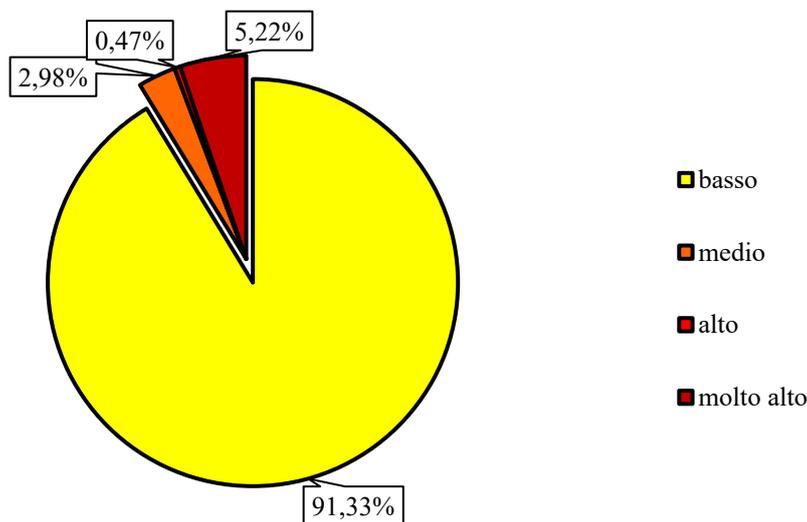


Figura 5.6 - Percentuale delle operazioni presenti nei range ergonomici

Da questo grafico si nota che il 91,3 % delle operazioni totali hanno un impatto basso sull'ergonomia dell'operatore e invece per quanto riguarda le azioni altamente pericolose è presente un 5 % nelle quali l'operatore avrà un picco di fatica che dovrà essere seguito da un periodo adatto di pausa.

Dopo aver visualizzato la situazione per ogni fase, si sono messe a confronto in modo tale da capire, analiticamente, quali parti della lavorazione sono più impattanti sul fisico dell'operatore.

Per analizzare questo, si è identificato un nuovo KPI nominato "indice di riposo" che è stato calcolato tramite la somma pesata del numero di azioni all'interno dei range. I pesi attribuiti alle classi vanno da 1, la classe più bassa, a 4, quella più alta.

Per ogni fase si individua il seguente KPI:

$$\text{indice di riposo} = 1 * \text{conteggio}(0-4) + 2 * \text{conteggio}(4-8) + 3 * \text{conteggio}(8-12) + 4 * \text{conteggio}(12-16)$$

Equazione 5.1 - Calcolo dell'indice di riposo

Tramite questa scala, la presenza di valori alti contribuisce maggiormente all'indice rispetto a quella di indici ergonomici bassi, per esempio mettendo a confronto la fase 9 e 19, anche se nella seconda sono presenti 14 azioni in più della prima, l'indice più alto è nell'attività 9 a causa della presenza di ben 13 azioni a massimo sforzo.

Questi valori sono stati riportati all'interno dell'istogramma seguente dove sull'asse delle ascisse sono presenti le fasi e sulle ordinate l'indice di riposo:

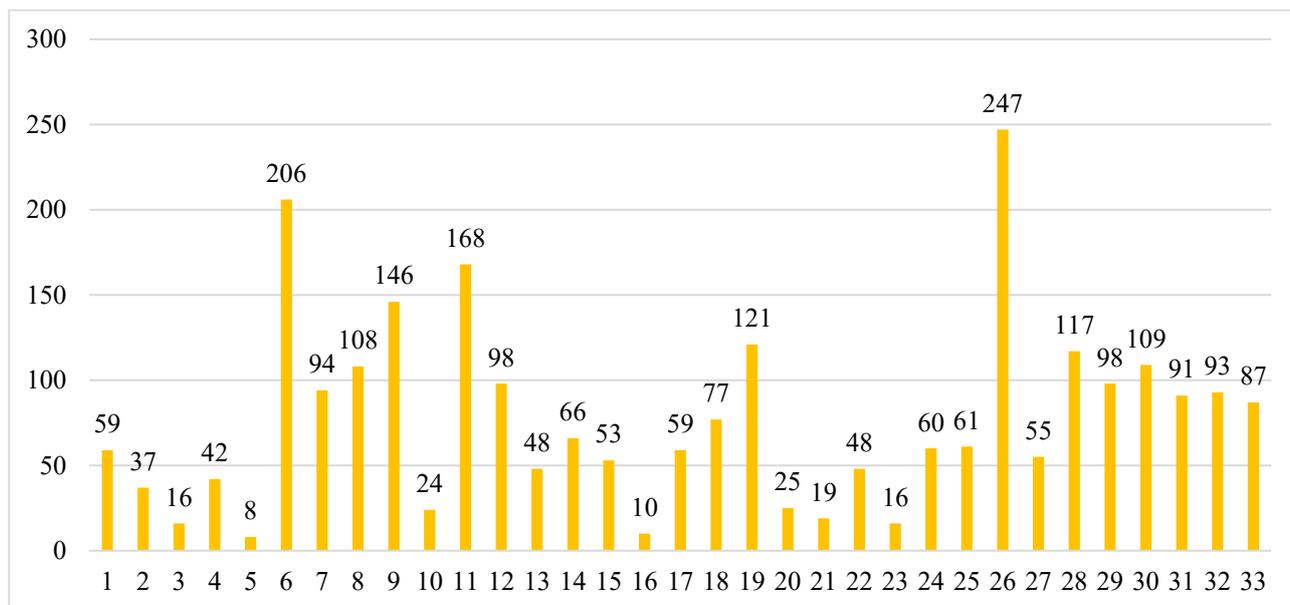


Figura 5.7 - Rappresentazione dell'indice di riposo per ogni fase

Da questo grafico si nota come alcune fasi sono molto più impattanti di altre sul fisico dell'addetto; perciò, si è deciso di stabilire delle pause aggiuntive in funzione del valore rispettivo di ogni attività. Le fasi aventi indice minore di 50 non prestabiliscono nessuna pausa successiva alla loro esecuzione, invece per i valori più alti si è deciso di aggiungere 20 secondi di pausa ogni incremento di 25 punti. Per esempio, la fase 26 che è la più alta, una volta conclusa l'operatore dovrà compiere una pausa di 2 minuti e 30 secondi per riposarsi dallo sforzo compiuto.

Questi secondi saranno aggiunti a quelli calcolati all'interno delle fasi sommandoli alle tempistiche totali presenti in esse.

È interessante vedere quale sia il discostamento teorico di questi indici di riposo da quelli presenti precedentemente alla riallocazione del materiale.

I risultati su cui influisce il lavoro compiuto non sono quelli riguardanti le azioni statiche ma solamente quelle dinamiche poiché le prime, essendo in coordinate precise del *layout*, riguardano la tecnologia del prodotto e non sono state messe in discussione.

Invece per quanto riguarda l'indice ergonomico dinamico si è avuta una significativa riduzione generale che è descritta sul diagramma a linee seguente.

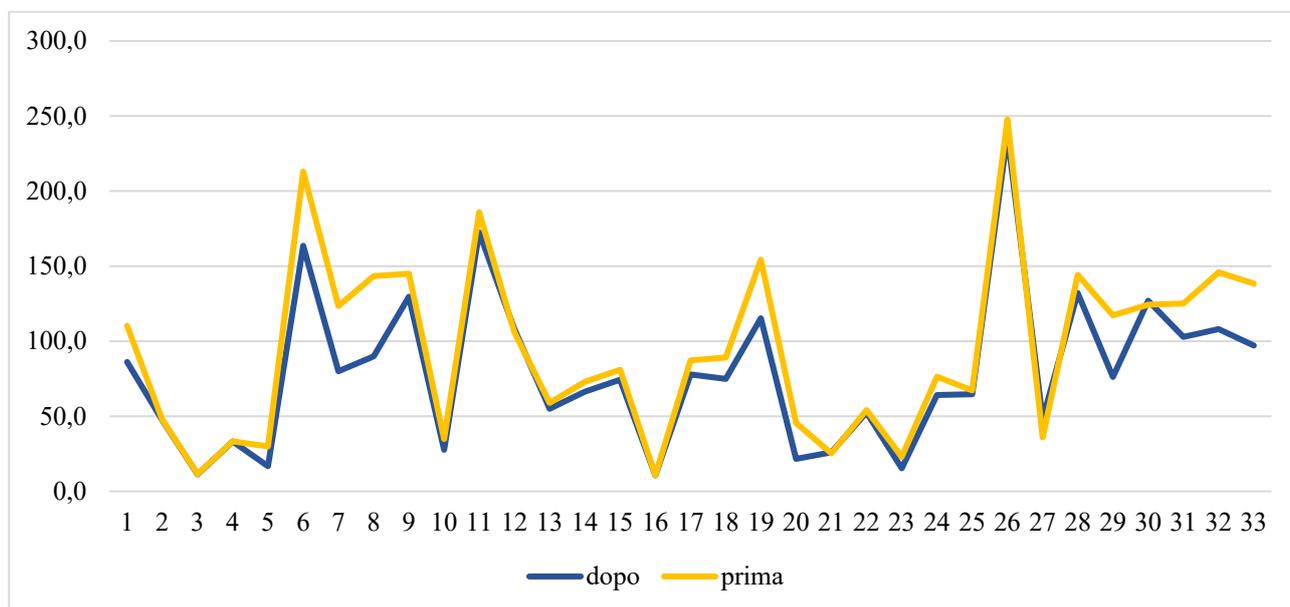


Figura 5.8 - Scostamenti degli indici ergonomici dinamici causati dal ricollocamento del materiale

Dal grafico si vede come in alcune fasi si è avuta una grande diminuzione dell'indice e altre invece sono state quasi nulle.

La fase 8 è l'azione che ha avuto il più significativo miglioramento, presentando una riduzione di 53,5 punti. Tutte le fasi hanno avuto una diminuzione tranne l'azione 30 che ha avuto un incremento di 12,1 ma dato che il suo valore % rispetto alla somma totale degli indici delle fasi è 1,8, è stato considerato trascurabile rispetto ai decrementi delle altre fasi. In totale la sommatoria degli indici ergonomici è diminuita da 3108,9 punti iniziali a 2613,6 finali.

Di seguito sono inseriti i valori degli indici ergonomici precedenti e successivi allo studio:

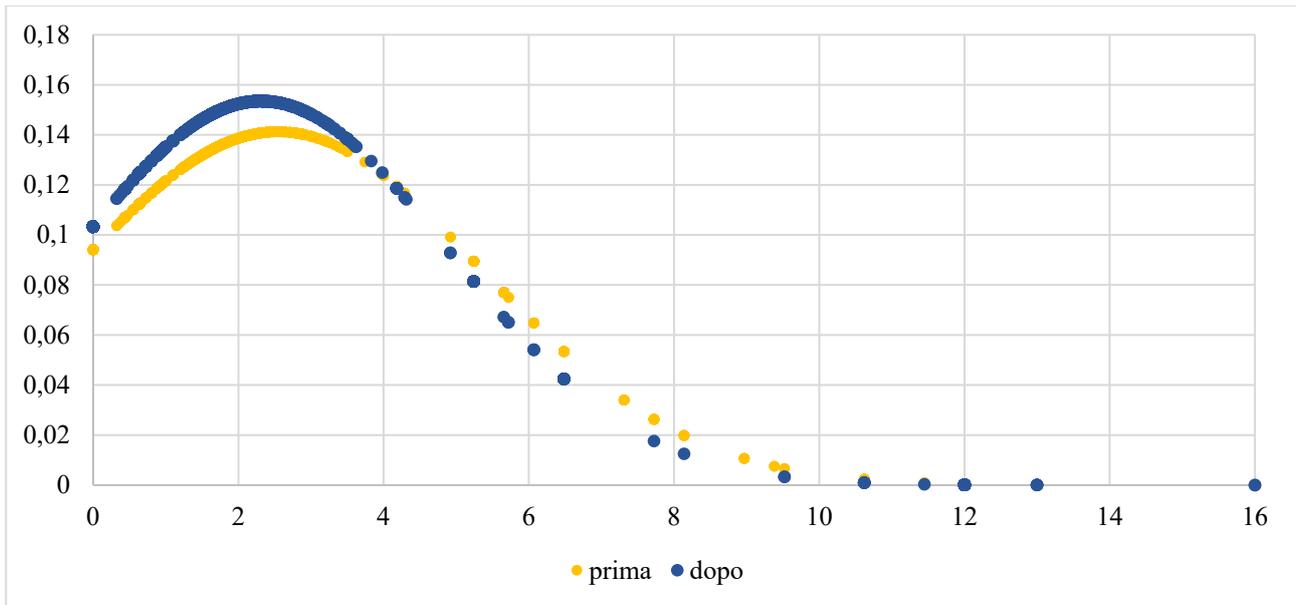


Figura 5.9 - Distribuzione normale dei degli indici ergonomici delle operazioni

% azioni	< σ|	<2*|σ|	<3*|σ|	media	dev. st.	range	
prima	88,63%	93,94%	94,69%	2,54	2,82	0	11,01
dopo	91,89%	94,27%	94,45%	2,31	2,60	0	10,11

Tabella 5.8 - Valori della distribuzione normale ergonomica

Si vede dalla normale e dalla tabella come la media dei valori sia diminuita del 10 % e che anche la varianza sia passata da 2,82 a 2,6; tale risultato comporta un miglioramento generale e una maggiore similarità degli indici presenti.

5.2.2 RISULTATI TEMPI

Per quanto riguarda i dati delle tempistiche dovute alle azioni compiute dall'operatore, si sono prima calcolati il totale di ogni fase e successivamente sono stati messi a confronto con quelli precedenti.

I KPI valutati in questo tipo di analisi sono stati i tempi di movimento e di azione e la media baricentrica totale di movimento per ogni fase e quella generale.

Per quanto riguarda il calcolo del baricentro di spostamento dell'operatore si è calcolato prima le medie dei valori delle ascisse e delle ordinate e a parte si è calcolato direttamente con il teorema di Pitagora il punto sul *layout*.

La tabella pivot seguente indica i valori iniziali del fattore tempo (s) e movimento (mm):

macro	t mov.	t tot.	media di x1	media di y1	distanza da cella
1	278,4	610,0	20776,7	6737,8	239,8
2	62,6	351,1	19950,0	7018,2	660,7
...
32	381,8	1562,2	17800,8	6841,4	2799,8
33	360,0	1556,3	17430,5	7582,2	3242,1
Tot	7583,6	38306,5	19588,7	6439,3	

Tabella 5.9 - Valori dei tempi riguardanti lo spostamento dell'operatore per ogni fase

Le prime due colonne di dati descrivono i tempi dovuti agli spostamenti della risorsa e quelli totali della fase; invece, le ultime descrivono la distanza tra il baricentro della macro azione e il baricentro della cella.

Il baricentro, questa volta si riferisce a quello totale, prendendo in considerazione anche le operazioni di spostamento; questo perché il metodo di ricollocazione materiale non diminuisce i tempi di valore aggiunto ma solamente quelli di spostamento. Il baricentro, calcolato in questo caso, infatti, non è più calcolato pesato sui valori temporali ma ogni coordinata ha un peso unitario dato anche dal fatto che la velocità di camminata dell'operatore è sempre costante. Tramite questo valore si può visualizzare quanto è stato l'avvicinamento teorico rispetto al baricentro della cella e quindi alla *golden zone* con la nuova disposizione del materiale.

In alcuni casi, lo spostamento dell'addetto rimane comunque alto perché alcuni spostamenti sono obbligati, come in 11, 12, 26 e 28, dovuti alla disposizione delle macchine di lavorazione fisse in officina.

Queste azioni, da compiere fuori dalla *golden zone*, potrebbero essere eseguite da un addetto della lavorazione adiacente ma prima si deve verificare se il tempo aggiuntivo di lavoro possa essere sottoposto alla risorsa altrimenti si rischia di spostare solamente il problema e non eliminarlo.

I risultati in termini di tempo totale di ogni fase sono stati raffigurati nel grafico sottostante:

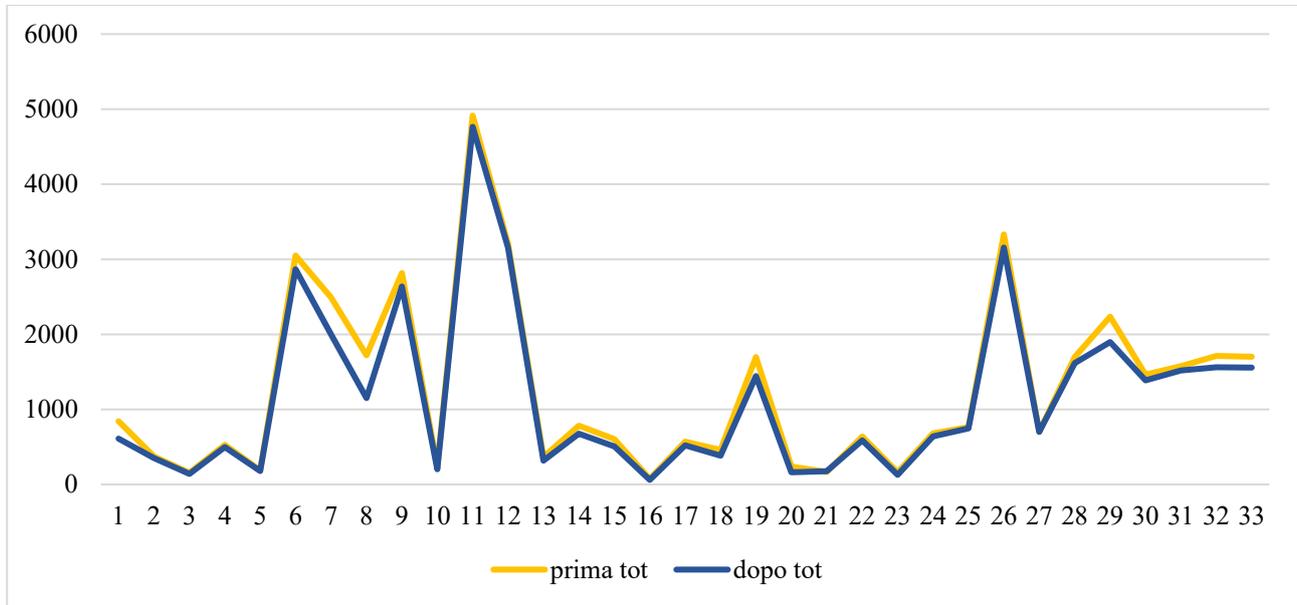


Figura 5.10 - Scostamenti dei valori temporali (s) causati dal ricollocamento del materiale

Le differenze, in alcune attività sono più evidenti di altre, sottolineando decrementi molto significativi in alcuni casi. Il discostamento dei tempi è dato dai risparmi delle distanze percorse ma non solo, perché oltre a queste incide anche l'”*allowance factor*”. Infatti, la diminuzione è data da:

$$\Delta \text{ tempo} = \sum (\text{tempo spostamento 2} - \text{tempo spostamento 1}) * \text{allowance factor}$$

Equazione 5.2 - Tempo guadagnato per ogni attività di spostamento

Avendo applicato un metodo unico di riallocazione materiale per l'intera lavorazione e non specifico per ogni fase, si può notare che una di queste fasi ha avuto effetto negativo, la 21. Questa ha avuto un incremento del tempo totale del 5,6%, ma trattandosi di una azione che durava soli 166 secondi non impatta significativamente sul tempo ciclo. Invece nella fase 30, nella quale si era avvertito un peggioramento nel fattore ergonomico, il tempo è stato ridotto pesantemente avendo benefici in termini di produttività.

Guardando invece nella totalità della lavorazione si è risparmiato circa 1,07 ore lorde sulle 11,7 totali tenendo conto del fattore correttivo.

Di seguito sono inseriti i valori dei tempi precedenti e successive allo studio:

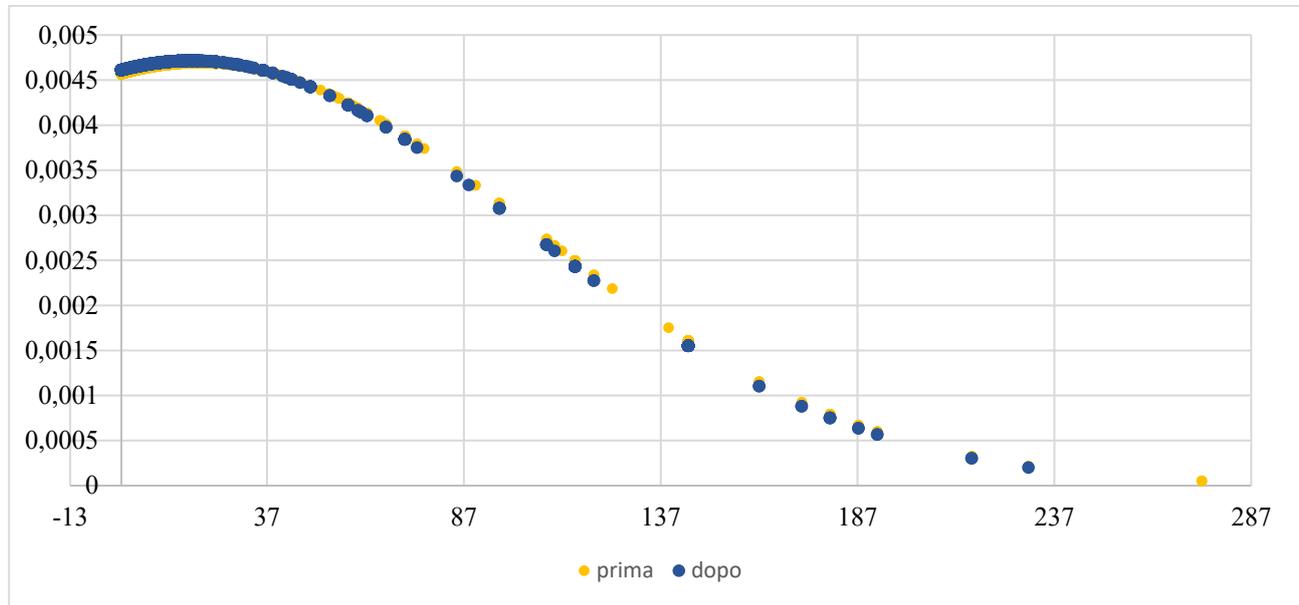


Figura 5.11 - Distribuzione normale dei valori temporali delle operazioni

% azioni	< σ|	<2*|σ|	<3*|σ|	media	dev. st.	range	
prima	95,62%	99,30%	99,63%	19,64	85,03	0	274,73
dopo	95,85%	99,44%	99,72%	17,85	84,60	0	271,65

Tabella 5.10 - Valori della distribuzione normale temporale

Anche in questo caso la media e la deviazione standard presenti sono diminuite rispettivamente di circa 1,79 secondi e 0,43 secondi vedendo dal grafico uno spostamento delle azioni con maggior valore verso sinistra.

5.2.3 RISULTATI MOVIMENTO

Il movimento è stato analizzato tramite il calcolo degli spostamenti presenti nel *database* prima e dopo l'applicazione del metodo, in particolare sono state messe a confronto le distanze tra i baricentri di ogni fase con il centro della cella, definito fulcro di lavorazione.

I risultati sono stati riportati in tabella nell'ordine di grandezza dei millimetri:

ID	distanza 1	distanza 2	Δ baricentro cella	Δ percorsa	Δ baricentro/ Δ percorsa
1	1051,8	239,8	-812,0	190644,2	-234,8
2	618,1	660,7	42,5	47142,1	1108,6
3	653,6	241,0	-412,6	7936,9	-19,2
4	1000,9	454,2	-546,7	35135,7	-64,3
5	3110,9	7620,1	4509,2	75451,5	16,7
6	2897,7	2713,9	-183,8	257722,0	-1402,3
15	1241,5	1078,5	-163,0	97966,8	-601,1
16	2433,4	1304,3	-1129,1	13671,0	-12,1
17	754,1	677,0	-77,1	66477,5	-862,5
25	2026,6	2168,9	142,3	113205,1	795,8
26	572,0	308,0	-264,1	301883,7	-1143,2
32	3269,1	2799,8	-469,3	240519,4	-512,5
33	3719,7	3242,1	-477,6	273308,1	-572,2

Tabella 5.11 - Analisi degli scostamenti delle distanze dai baricentri delle fasi al centro della cella

Nelle prime due colonne compaiono i valori corrispondenti alle distanze baricentriche tra le fasi e la cella e la differenza tra queste compare nella terza colonna, invece, nella quarta colonna, si indica lo spostamento totale eseguito per ogni fase.

I dati ricavati sono stati rappresentati all'interno del *layout*:

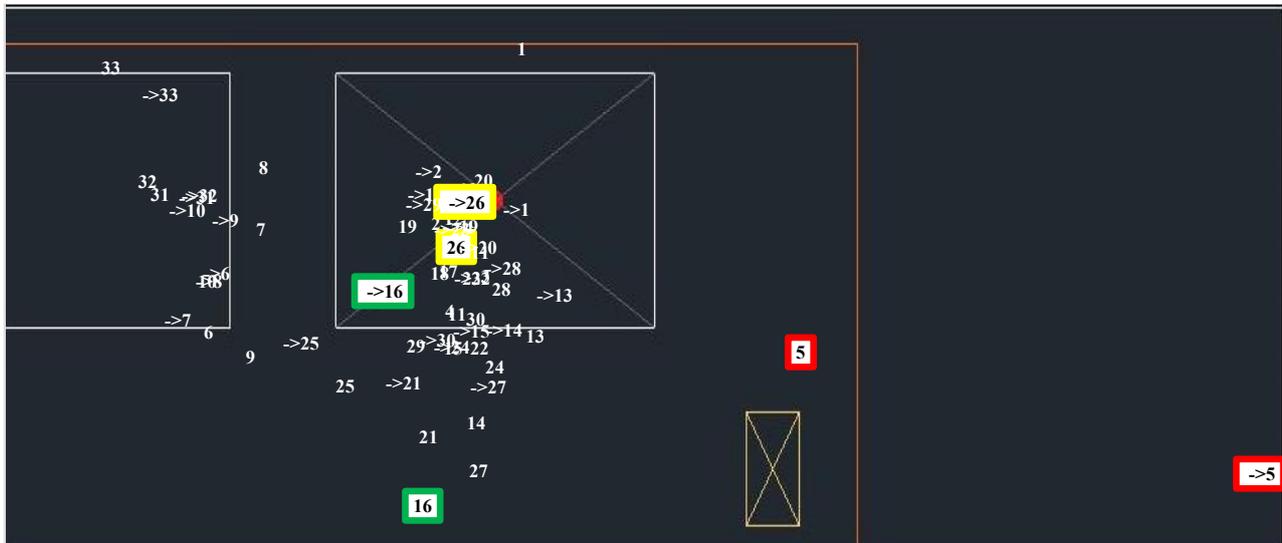


Figura 5.12 - Rappresentazione nel layout dei baricentri di fasi prima e dopo lo studio

In questa raffigurazione sono stati rappresentati i punti baricentrici di ogni fase, prima (punti raffigurati da un solo numero) e dopo (punti preceduti dalla →) il ricollocamento degli strumenti, che danno un'idea sul centro d'azione in riferimento alle operazioni eseguite.

È stato analizzato quale sia stato l'impatto reale dello spostamento di ogni baricentro d'azione.

Dalla tabella 5.11 si nota che sono presenti sia avvicinamenti (valori negativi) al baricentro della cella sia allontanamenti (valori positivi), dovuti ad alcuni accorgimenti compiuti e dall'ottimizzazione della lavorazione totale e non puntuale.

Alcune fasi, più rilevanti della tabella, sono state colorate per evidenziare le diverse coordinate all'interno del layout.

La fase 16, che è stata marcata di verde, è la lavorazione con maggior avvicinamento del baricentro al centro della cella. Questo inizialmente era collocato vicino al banco per la posizione di alcuni prodotti che erano presenti in quell'area e questa situazione è stata migliorata grazie allo spostamento della maggior parte di essi sui cavalletti sotto la cella per averli maggiormente nelle vicinanze.

Il dato peggiore, invece, risulta nella fase 5, dove si nota un allontanamento dal baricentro di 4,509 m. Questo però è dovuto ad un accorgimento specifico compiuto su di essa, infatti, nella quinta fase, si è deciso di inserire la chiave di attivazione del camion direttamente sul relativo mezzo e non far compiere all'operatore lo spostamento dalla cella al camion passando per la posizione della chiave ma direttamente al camion.

Questa correzione ha avuto un impatto negativo sul baricentro dovuto all'azione di presa della chiave che si è spostata maggiormente dalla work station ma un rilevante decremento della distanza percorsa e del tempo impiegato.

Oltre ai baricentri si sono valutate anche le distanze totali percorse perché maggiori sono questi valori, maggior incidenza avranno gli avvicinamenti dei baricentri. Infatti, i due dati presi precedentemente sembrerebbero di grande rilevanza ma bisogna analizzare anche il valore della distanza compiuta durante la fase che attenua o aumenta i loro effetti migliorativi o peggiorativi sulla lavorazione.

Per avere una migliore visione dei dati e del contributo migliorativo di ogni fase, è stato eseguito il rapporto della terza colonna della tabella 5.11 con la distanza di fase percorsa.

Tramite questo valore si è notato che maggiore è il valore assoluto del rapporto e maggiore è l'impatto della differenza sulla lavorazione. Per esempio, si è preso il valore maggiore di distanza percorsa, l'azione 26, che anche se lo spostamento tra i baricentri è minore della fase 16, il risparmio di tempo dato dal movimento è maggiore.

Di seguito sono stati rappresentati i discostamenti dei tempi (s) dovuti allo spostamento dell'operatore per ogni fase:

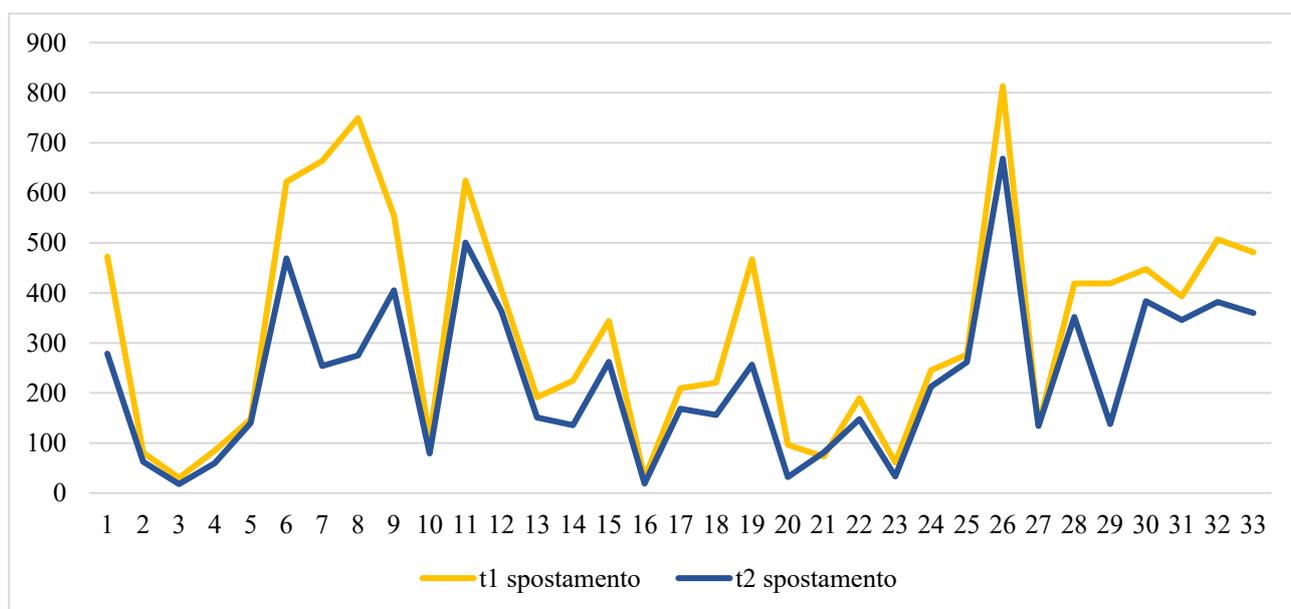


Figura 5.13 - Scostamenti dei valori temporali di spostamento dell'operatore causati dal ricollocazione del materiale

Di seguito sono state anche inserite le distanze all'interno di una normale trovando i dati statistici di riferimento:

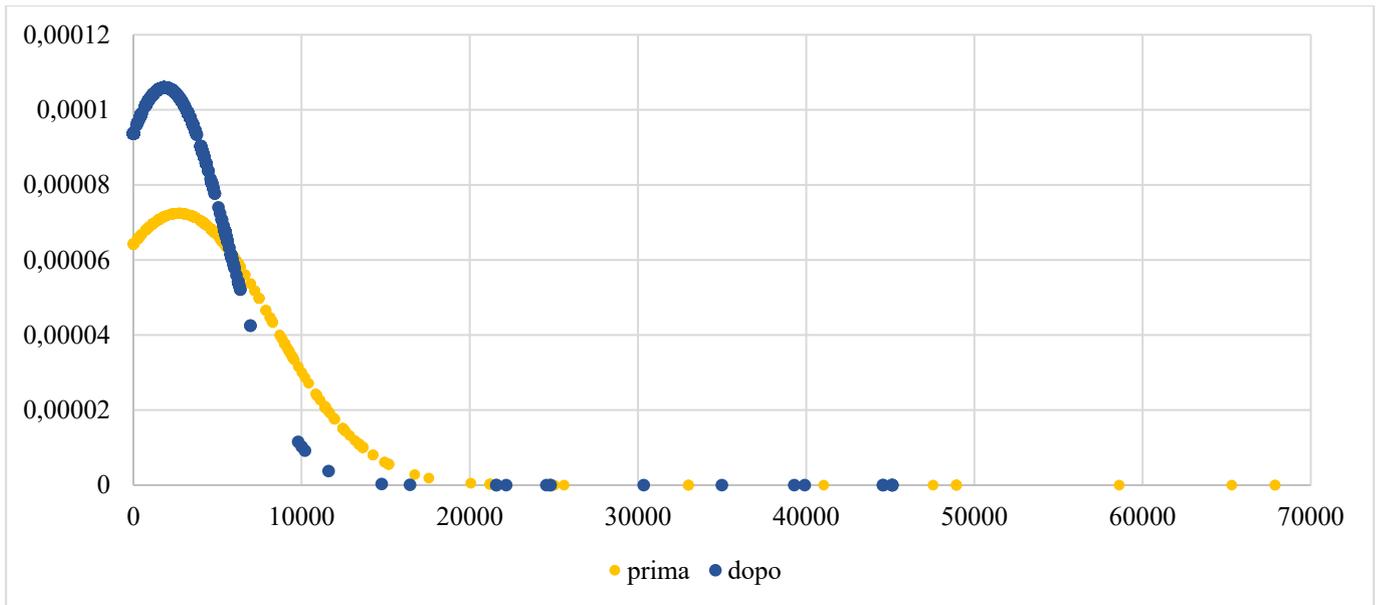


Figura 5.14 - Distribuzione normale delle distanze percorse dall'operatore durante le operazioni

% azioni	$< \sigma|$	$<2*|\sigma|$	$<3*|\sigma|$	Media	dev. st.	range	
prima	92,68%	98,04%	98,70%	2701,695	5506,616	0	19221,54
dopo	96,23%	98,88%	99,07%	1870,36	3765,414	0	13166,6

Tabella 5.12 - Valori della distribuzione normale delle distanze

I dati presenti in tabella sono risultati confortanti e si evidenzia sia una diminuzione della media che della varianza, come si nota dal grafico, causata dall'avvicinamento delle operazioni più lontane dalla golden zone.

5.2 EFFETTI SUL PRODOTTO SINGOLO

Per avere più chiaro quale sia stato il miglioramento della lavorazione, tramite lo studio di riallocazione dei prodotti, si sono voluti calcolare i discostamenti degli indici fondamentali, dalla situazione prima e quella dopo il ricollocamento del materiale, su un prototipo di cella frigorifera media.

Per individuare un prodotto medio, definito con tutte le possibili caratteristiche e quindi fasi produttive, si è usato il metodo dell'albero degli eventi. Questo procedimento si basa sull'analisi di tutti i percorsi del grafo di lavorazione e dell'insieme delle celle producibili, tenendo conto anche delle logiche presenti all'interno del processo.

Si è analizzato il grafo in modo "forward", cioè dal ramo finale a quello iniziale, seguendo le precedenze temporali e le cause implicite derivanti da alcuni nodi nel diagramma.

Questo sistema di solito si usa per il risk management per riuscire ad avere delle stime appropriate dei progetti analizzando i rischi a cui potrebbero essere soggetti. In questo caso, invece, ogni percorso porta ad una produzione di una tipologia di prodotto e da ogni nodo, gli archi uscenti sono stati ipotizzati con la stessa probabilità di accadimento.

Il grafo analizzato per ottenere i valori medi è quello contenuto all'interno del secondo capitolo nominato "diagramma dei percorsi". Per ottenere i valori risultanti dello studio precedente (tempo, movimento ed ergonomia) per la cella "media" si è usata una tecnica che viene solitamente utilizzata per la profittabilità dell'investimento in relazione ai rischi che si possono generare. Questo metodo è stato utile per la tesi al fine di ottenere qualsiasi valore di indice di lavorazione sulla cella "media".

Detto criterio di Bayes, a ogni arco dell'albero delle decisioni viene affidata una probabilità di accadimento e, sapendo il profitto di quella soluzione, si calcola il risultato finale tramite l'"Expected Monetary Value".

$EMV = V \text{ (Valore)} * P \text{ (probabilità di accadimento)}$

Ogni percorso porta ad un EMV uguale alla sommatoria degli EMV in funzione delle decisioni precedenti.

In questo tipo di albero si prendono in considerazione sia le decisioni in funzione della scelta di attività precedenti che anche quelle che potrebbero accadere in seguito ad esse:

- Scelte decisionali;
- Alternative date dal caso;
- Nodi terminali.

Dopo aver individuato i valori di ogni percorso, da destra verso sinistra si vanno a sommare i valori moltiplicati per la loro probabilità per risalire ai valori intermedi fino ad arrivare all'attività iniziale.

In questo caso il grafo è stato diviso in quattro percorsi principali (A, B, C, D, E) poiché all'interno di ognuno di questi sono presenti implicazioni logiche differenti che compromettono le probabilità reali di accadimento successive oltre che avere un nodo finale differente.

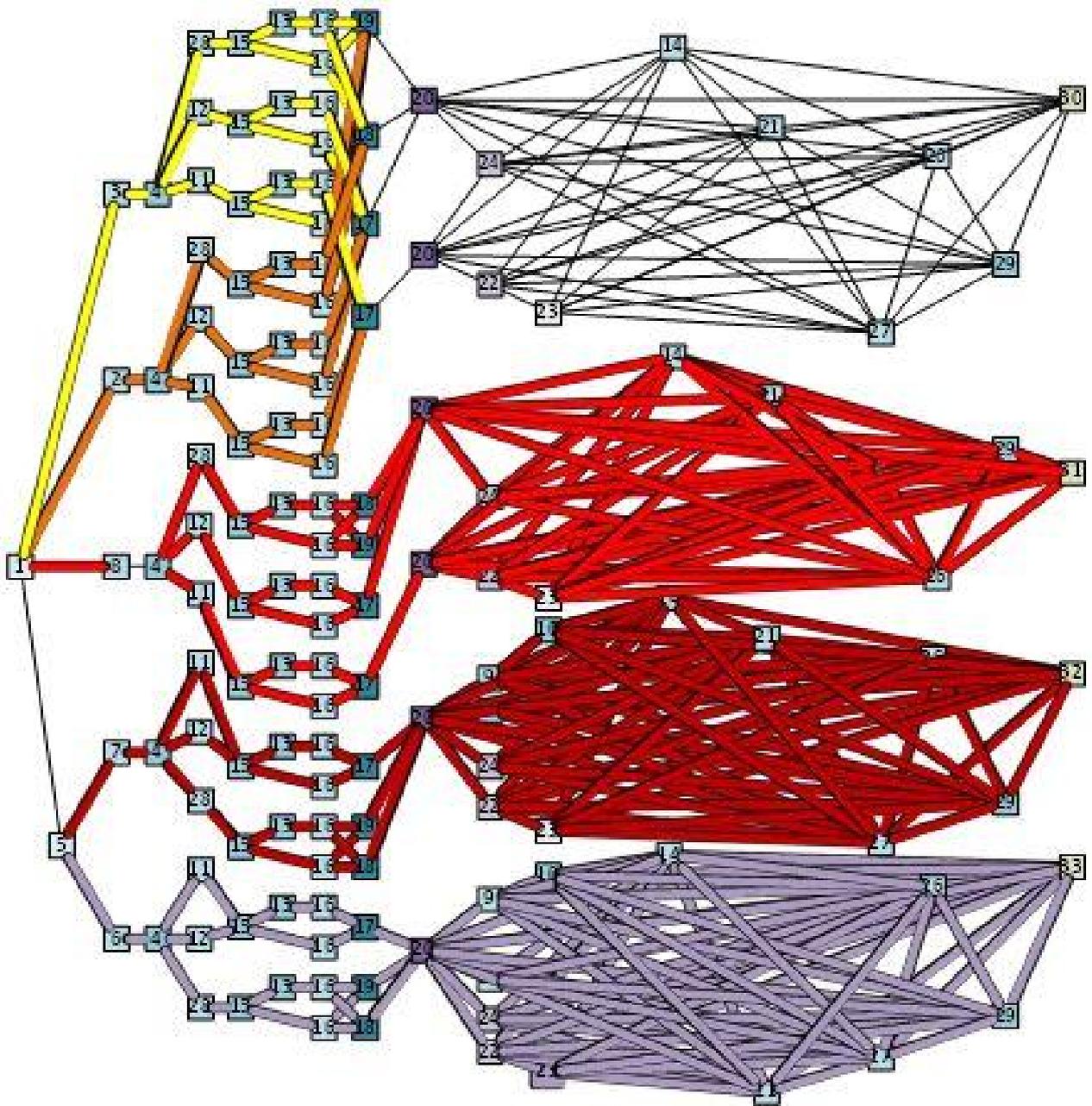


Figura 5.15 - Individuazione dei percorsi necessaria per la creazione della cella frigorifera "media"

In seguito, è stata analizzata ogni fase presente nei cinque percorsi dato che la percentuale di accadimento differisce in funzione del ramo in cui è presente. Per esempio, l'attività 24 nel percorso D ha una probabilità di accadimento minore di quella del percorso A, perché essendoci la presenza

del camion, oltre che la possibilità di montare i paraspruzzi sulla cella, possono essere assemblati direttamente su di esso. Quindi la quantità di scelte possibili da compiere presenti sul nodo 20, che prima erano due ora sono 4 più la scelta di evitare l'assemblaggio di paraspruzzi comportando una probabilità di accadimento uguale a 1/5.

A	%	Σ	B	%	Σ	C	%	Σ	D	%	Σ	E	%	Σ
3	1,0	##	2	1,0	##	8	1,0	#	7	0,5	#	6	0,5	#
4	1,0	##	4	1,0	##	4	1,0	#	4	1,0	#	4	1,0	#
11	0,3	##	11	0,3	##	11	0,3	#	11	0,3	#	11	0,3	#
12	0,3	##	12	0,3	##	12	0,3	#	12	0,3	#	12	0,3	#
28	0,3	##	28	0,3	##	28	0,3	#	28	0,3	#	28	0,3	#
15	1,0	##	15	1,0	##	15	1,0	#	15	1,0	#	15	1,0	#
13	0,5	##	13	0,5	##	13	0,5	#	13	0,5	#	13	0,5	#
16	1,0	##	16	1,0	##	16	1,0	#	16	1,0	#	16	1,0	#
17	0,5	##	17	0,5	##	17	0,5	#	17	0,3	#	17	0,3	#
18	0,3	##	18	0,3	##	18	0,3	#	18	0,3	#	18	0,3	#
19	0,3	##	19	0,3	##	19	0,3	#	19	0,3	#	19	0,3	#
20	1,0	##	20	1,0	##	20	1,0	#	20	1,0	#	20	1,0	#
24	0,5	##	24	0,3	##	24	0,4	#	9	0,2	#	9	0,2	#
14	0,5	##	22	0,3	##	22	0,2	#	25	0,2	#	25	0,2	#
21	0,5	##	23	0,5	##	23	0,5	#	24	0,2	#	24	0,2	#
27	0,5	##	14	0,5	##	14	0,5	#	22	0,2	#	22	0,2	#
26	0,5	##	21	0,5	##	21	0,5	#	23	0,1	#	23	0,1	#
29	0,5	##	27	0,5	##	27	0,5	#	10	0,1	#	10	0,1	#
30	1,0	##	26	0,5	##	26	0,5	#	14	0,5	#	14	0,5	#
			29	0,5	##	29	0,5	#	21	0,5	#	21	0,5	#
			30	1,0	##	31	1,0	#	27	0,5	#	27	0,5	#
									26	0,5	#	26	0,5	#
									29	0,5	#	29	0,5	#
									32	1,0	#	32	1,0	#

Tabella 5.13 - Metodo utilizzato per il calcolo dei fattori ergonomici, temporali e di distanza della cella "media"

Nella tabella 5.13 sono presenti, per ogni percorso, tre colonne:

- Le fasi presenti;
- La percentuale di accadimento per ciascuna fase dei rami;
- I valori della fase analizzati, in questo caso sono presenti degli asterischi ma per i calcoli sono stati sostituiti con i valori dei tempi, degli indici ergonomici e delle distanze.

C'è da segnalare che ai tempi di ogni fase calcolati tramite database sono stati aggiunti anche i secondi di pausa risultati dal calcolo ergonomico.

Oltre ai tempi, con lo stesso metodo, è stata determinata anche la distanza media percorsa dall'operatore prima dello studio e successivamente.

I fattori riguardanti ogni fase sono stati inseriti all'interno della colonna della Σ . Tramite l'inserimento dei valori che si vogliono calcolare nella colonna di sommatoria tramite la somma pesata di questi e le probabilità relative alle fasi puntuali è possibile ottenere il valore medio dei cinque percorsi.

Successivamente sono state aggiunte le fasi iniziali, la 5 e la 1, nei percorsi in cui sono presenti con le loro probabilità e infine, tramite la media dei valori medi ottenuti dai percorsi, si sono trovati relativi risultati del prototipo di cella frigorifera.

I dati risultanti sono i seguenti:

cella media	prima	dopo
tempo (ore)	3,821	3,402
indice ergonomico	950,37	870,99
distanza (km)	1,96	1,34

Tabella 5.14 - Risultati dei fattori principali di produzione della cella "media" prima e dopo lo studio

Si nota come, grazie allo studio compiuto, si sia riuscito a compiere un miglioramento di ogni fattore produttivo studiato. I risultati sono perfettamente in linea con i metodi "lean" che insegnano di "fare di più con meno", infatti si vede che i valori sono tutti migliorativi utilizzando lo stesso materiale e le stesse risorse iniziali, andando anche a migliorare le loro condizioni di lavoro.

Il tempo è diminuito da circa 3,8 a 3,4 ore e tenendo conto che nella situazione precedente non erano presenti le pause aggiuntive in funzione dell'indice ergonomico, è un risultato ancora più significativo. Dato che il caricamento al carroponte è la postazione "collo di bottiglia" determina un miglioramento al *lead time* della cella frigorifera, oltre che un aumento della soddisfazione dell'operatore, il quale dovrà compiere in media 600 m in meno per la lavorazione completa di ogni cella.

Oltre a visualizzare i risultati presenti nel database si è voluto cercare di stimare quanto questo studio possa impattare sul mercato.

Dati i tempi nella tabella precedente si è calcolato la massima produzione possibile nel mese successivo e nell'anno seguente trovando valori importanti già nel breve periodo.

I calcoli sono stati eseguiti tenendo conto delle ore di lavoro dell'operatore e dei 20 minuti di pausa concessi al giorno oltre a quelli dovuti dal calcolo ergonomico; quindi, la sua disponibilità diventa uguale a 7,67 ore settimanali di lavoro netto in ognuno dei 20 giorni lavorativi al mese.

cella media	Prima	dopo
tempo (ore)	3,821	3,402
celle/mese	40,12	45,07
celle/anno	481,54	540,79

Tabella 5.15 - Risparmio produttivo generato dall'applicazione dello studio di ricollocazione

Come si evince dalla tabella, è stato diminuito il tempo ciclo di lavorazione del 11 %, riuscendo a far uscire dalla postazione 5 celle nette in più al mese e 59 nette in più all'anno.

6 SISTEMA INFORMATIVO

Questo capitolo invece si basa sull'eliminazione di un'altra tipologia di muda, i difetti di produzione. Questo tipo di spreco è portato dalla difficoltà dell'operatore nel comprendere la modalità e la sequenza di assemblaggio dei prodotti sulla cella.

Si è pensato di creare un sistema informativo aziendale che aiutasse sia l'ufficio di produzione che l'officina a standardizzare un metodo unico di interfacciamento, dalla creazione alla lavorazione della cella frigorifera caratteristica che abbia come scopo migliorare entrambi i processi.

L'immissione del sistema negli uffici ha l'obiettivo di aiutare i responsabili ad avere una migliore stima futura sui fattori tempo, ergonomia e movimento per la lavorazione del prodotto, mentre in officina ha lo scopo di istruire l'operatore nel proprio lavoro e la conseguente riduzione dei difetti causati da mancate informazioni.

In particolare, il processo informativo attuato è basato su 4 passaggi fondamentali:

1. Il responsabile di produzione inserisce, all'interno della finestra adibita nel programma creato, le caratteristiche della cella specifica;
2. Tramite la compilazione delle proprietà potrà visualizzare la dashboard dove sono presenti i vari indici risultanti dalla lavorazione caratteristica (in questo caso del sollevamento al carro ponte). Inoltre, verrà automaticamente generato un codice bidimensionale, sotto forma di codice a barre o *QR Code*, che potrà stampare e applicare alla cella semifinita entrante in officina;
3. Una volta che la stringa è stata incollata, quando la cella accede nella postazione, viene scannerizzata manualmente o in modo automatico decodificando il codice, grazie all'utilizzo di un laser. Tramite un programma appositamente scritto, sul dispositivo posizionato adiacente al banco di lavoro, verranno proiettati degli *standard works* che aiuteranno l'operatore nelle loro azioni e diminuiranno il rischio di errore durante la lavorazione.

Per descrivere in modo preciso e funzionale un sistema informativo si è usato il diagramma delle attività, cioè la sequenza temporale di operazioni che si compiono per raggiungere l'obiettivo del sistema.

In particolare, è stato usato l'"*UML Activity Diagram*", un diagramma di tipo *flowchart* nel quale vengono raggruppate solamente quelle azioni compiute o dal sistema o eseguite dagli attori tramite le interfacce create.

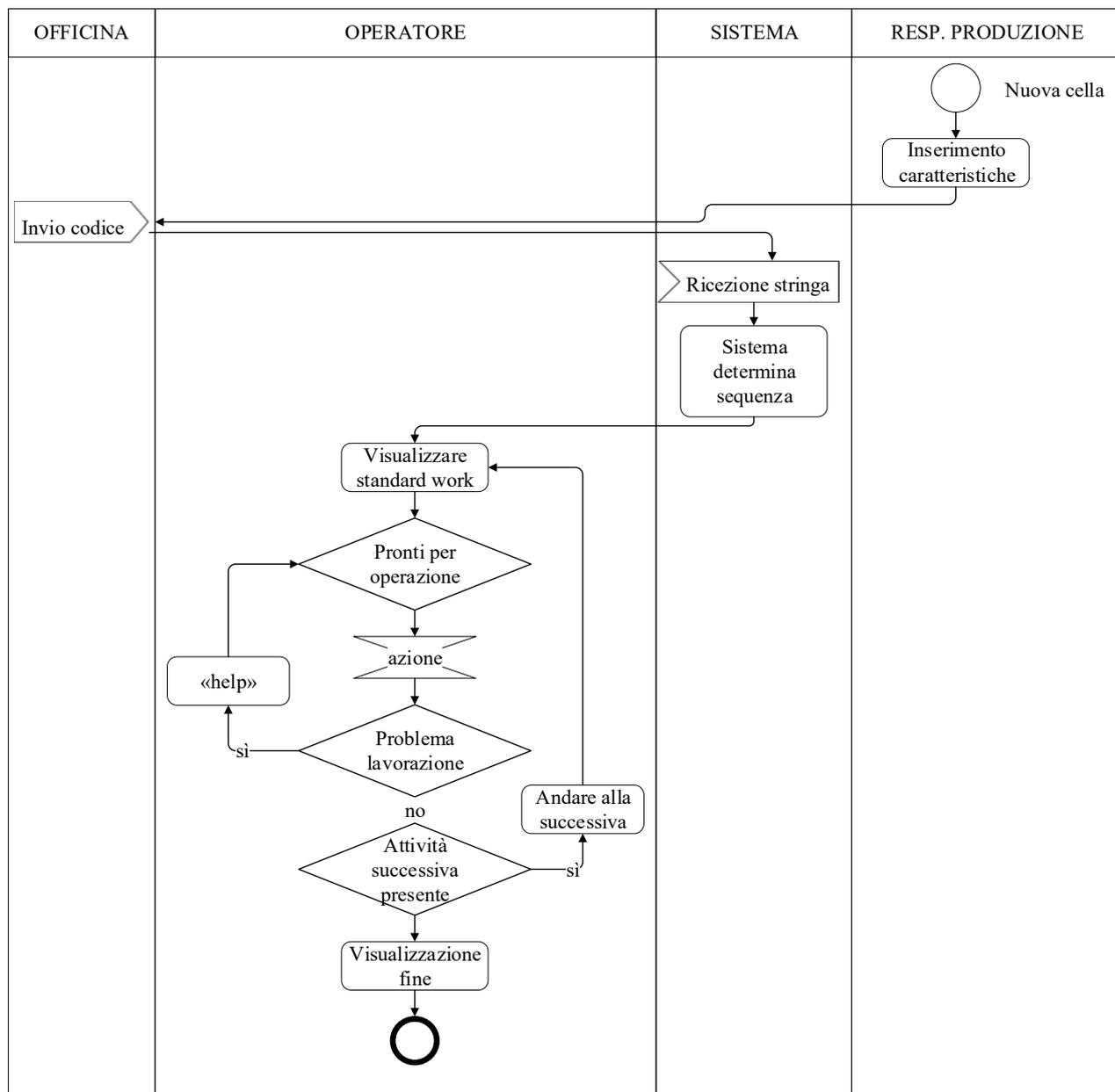


Figura 6.1 - UML Activity Diagram

Come nei *flowchart* tradizionali ci sono alcune forme che si riferiscono a ogni tipologia di passo, in questo caso si sono usati:

- Il rettangolo che rappresenta un'azione;
- Il cerchio totalmente nero che è il nodo iniziale;
- Il cerchio con contorno bianco che è il nodo finale;
- Il simbolo con la clessidra che indica un intervallo di tempo di attesa;
- Il rombo che indica una scelta esclusiva.

Le azioni presenti nel diagramma hanno sempre un responsabile che viene rappresentato tramite le corsie presenti nella figura, chiamate *swimlanes*, che suddividono in quattro rettangoli il *flowchart*. Ogni corsia possiede un titolo indicante l'attore a cui sono affidati i diversi compiti.

Per esempio, si vede che il sistema parte con l'esigenza dell'azienda di produrre una nuova cella e l'attore che dovrà eseguire l'inserimento del prodotto virtuale all'interno del sistema sarà il responsabile di produzione. Successivamente l'operatore, all'arrivo del prodotto caratteristico nella sua postazione, scannerizzerà il codice presente su di essa e visualizzerà sul dispositivo lo *standard work*.

Questo processo avviene grazie al codice VBA presente sul foglio Excel appositamente creato, che riconosce le caratteristiche e la sequenza della cella specifica.

Successivamente l'operatore interagisce col sistema solamente tramite i due tasti presenti sullo *standard work* che lo condurranno alla conclusione della lavorazione.

Prima di scrivere il codice che è il motore del sistema informativo, bisogna analizzare le variabili al contorno e individuare l'organizzazione migliore. Questo avviene tramite l'ingegneria dei requisiti che determina quali e quanti output richieda l'interessato per il sistema, in questo caso rappresentato dall'azienda. Gli obiettivi di questa disciplina sono l'identificazione dei risultati da ottenere, i compiti del sistema, rendere le specifiche formali e verificare il funzionamento.

I requisiti possono essere di basso livello o di alto livello dipendentemente dalla tipologia di attori che dovranno interfacciarsi con il software. Per esempio, il programmatore si baserà su requisiti molto accurati sia funzionali che qualitativi per la scrittura del codice, invece il cliente che dovrà solo interfacciarsi vedrà solo i requisiti dei risultati finali.

Una modalità per formalizzare i requisiti funzionali e le azioni che possono compiere gli attori dell'azienda sul sistema informativo è il caso d'uso. Questo metodo descrive le possibili interazioni e quindi gli obiettivi finali degli *stakeholders* con il sistema. Per esempio, decodificare la cella tramite lo scanner non è il reale scopo dell'operatore ma è quell'azione intermedia che deve compiere per visualizzare lo *standard work*.

Tra il responsabile e l'operatore è presente una relazione che viene indicata tramite una freccia di generalizzazione, poiché l'azione del primo rende possibile gli obiettivi del secondo e non viceversa. Tramite lo studio dei casi d'uso degli attori, si può studiare quale sia la migliore interfaccia con cui dovranno lavorare. In questo caso si parla di tre tipi di complessità:

- Strutturale, che si basa sulla quantità di funzioni con cui è composto il sistema;
- Funzionale, la quantità di azioni da poter compiere sul dispositivo;
- Complessità d'uso, la difficoltà nell'interfacciarsi con il software.

In questo caso, come vedremo, l'interfaccia è stata progettata con complessità d'uso molto bassa per l'operatore, con l'intento di essere chiari e non indurlo in errore; invece, quella del responsabile avrà un maggiore grado di complessità, poiché per realizzare il suo scopo sono presenti un maggior numero di variabili.

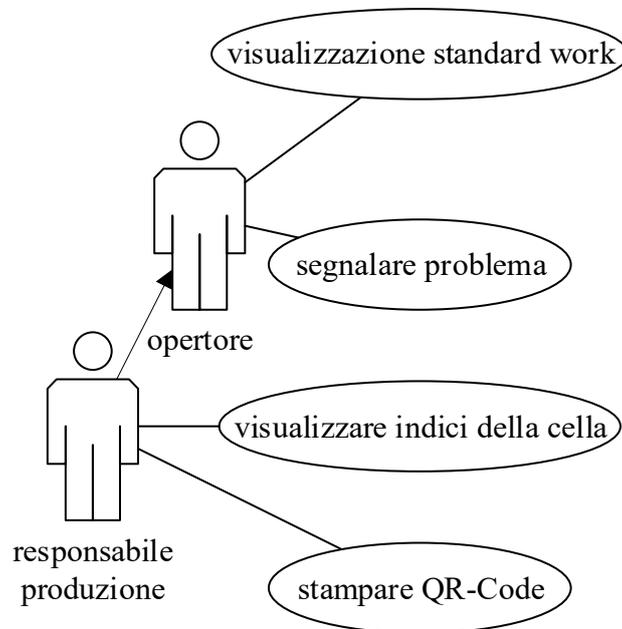


Figura 6.2 - Casi d'uso

L'operatore presente in officina, come si vede nella figura 6.2, ogni qualvolta che avrà dei dubbi o bisogno di informazioni, potrà leggere e visualizzare quelle presenti sul dispositivo e capire come eseguire le azioni a valore aggiunto. Seguendo il modello di Norman dovrà compiere continuamente il seguente ciclo:

1. Formare l'intenzione, quindi capire se può andare avanti con l'attività successiva o ha bisogno di aiuto per la lavorazione;
2. Specificare l'operazione, cioè capire quale tasto porta all'esecuzione della fase;
3. Compire l'azione, cliccare il tasto;
4. Il sistema deve carpire l'azione compiuta dall'operatore;
5. Interpretare l'azione;
6. Fornire il risultato o lanciando un segnale di errore al responsabile o facendolo avanzare nelle attività di lavorazione.

Le interfacce non sono solo state create in base alle funzionalità del sistema ma anche in relazione delle interazioni e dei casi d'uso degli attori secondo l'interaction design. Infatti, gli *standard work*

che si troverà l'addetto sul dispositivo, sono state progettate tramite il continuo interfacciamento con i futuri diretti interessati, cercando di capire quali fossero le loro comodità d'uso per rendergli il lavoro più semplice e *user friendly*. Inoltre, sono stati usati anche alcuni standard per la buona programmazione che sono rimasti invariati per l'intero sistema informativo, per esempio, nello standard work si è scelto di usare i colori dei tasti presenti in modo intelligente da richiamare subito l'obiettivo dell'azione; quello di avanzamento lavoro di verde, che è il colore solitamente collegato alla riuscita di una funzione, e quello di rilevazione di un problema di rosso, che è il colore solito di "allarme".

I layout delle finestre generate per la visualizzazione delle istruzioni di lavorazione sono stati ideati con una logica di base per il quale l'attore coinvolto, visualizzando la pagina dall'alto verso il basso e da sinistra verso destra, potesse captare gradualmente le informazioni sempre più specifiche.

6.1 SISTEMA MANAGERIALE DI CREAZIONE VIRTUALE

Dato lo studio precedentemente eseguito sul processo e la creazione del *database* caratteristico, si è creato un sistema per il quale sia possibile l'identificazione di una sola cella specifica da produrre avente le proprietà richieste che potesse restituire le stime future produttive di essa.

Da questo sistema, è stato possibile inoltre anche migliorare alcuni aspetti ausiliari alla produzione, come la programmazione, per avere un miglioramento continuo generale nella produzione e nella vendita dei prodotti ai clienti.

Per identificare una cella caratteristica è stato creato un sistema di inserimento dati nel quale il responsabile potesse immettere tutte le proprietà necessarie.

Per descrivere al meglio il prodotto si è data anche la possibilità di modificare le caratteristiche specifiche di ogni prodotto e componente tramite la tabella 4.2. All'interno di essa, infatti, l'attore troverà tutte le proprietà e le quantità singole di ogni oggetto.

Per quanto riguarda invece le fasi eseguite durante la lavorazione, è stata creata una *userform* dove all'interno il manager di produzione immette le caratteristiche della cella di interesse, così da creare il prodotto virtuale in modo totale.

Questo tipo di applicazione è stata svolta su Visual Basic Application in Excel.

All'interno del sistema sarà presente un pulsante all'interno del quale saranno presenti alcune stringhe di codice che mostreranno sullo schermo questa finestra:

Figura 6.3 - Finestra di inserimento dati per la creazione della cella frigorifera caratteristica virtuale

Questa è divisa in tre sotto gruppi:

1. Le informazioni generali sono dei valori puntuali della cella caratteristica; le dimensioni servono per collocare il prodotto virtuale nel *layout* dell'officina e ottenere una movimentazione corretta all'interno di esso e le porte invece servono per sapere quante ripetizioni compiere in alcune lavorazioni presenti nel processo produttivo;
2. All'interno della cornice delle "caratteristiche lavorazione" invece sono presenti quelle fasi di lavorazione necessarie che individuano le attività prima della fase 20;
3. Infine, sono presenti le "aggiunte" che descrivono quelle peculiarità che può avere il prodotto a richiesta del cliente.

La tipologia di strumento di immissione dati per le aree arancione e gialla è la "combobox", in quanto i valori immessi devono essere puntuali poiché sono parole specifiche su cui si basa il codice per la creazione della sequenza corretta di lavorazione. Questo è stato possibile tramite il collegamento di ogni menu a tendina ai valori ad una tabella corrispondente.

Per esempio, la *combobox* "modalità di spedizione" è collegata alla tabella 6.1.

modalità spedizione
camion
cavalletti

Tabella 6.1 - Tabella relativa alla modalità di spedizione per la creazione della combobox

Come si vede dalla raffigurazione seguente i dati di immissione sono vincolati da queste due stringhe:

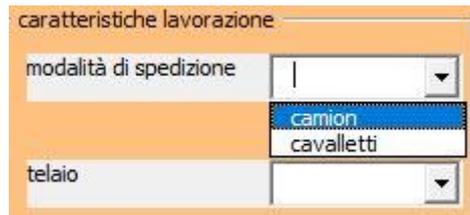


Figura 6.4 - Esempio combobox relativo alla modalità di spedizione

Nella parte inferiore a destra della finestra di immissione dati, è presente un bottone che renderà il sistema funzionante.

All'interno del tasto "aggiungi", infatti, è presente il codice VBA seguente che determina la modalità di avvio del programma e creazione delle stime future della cella caratteristica:

```
Private Sub ToggleButton1_Click()
Sheets("tempo operazioni").Select
Txtlargh.Value = Range("e2").Value
txtlungh.Value = Range("e3").Value
Txtporte.Value = Range("e38").Value
Sheets("FRANGER").Select
Range("A3:DT3").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.ClearContents
ActiveSheet.ListObjects("Frangertab").Resize Range("$A$1:$DT$2")
Dim m1, m2, m3, m4, m5, m6, m7, m8, m9, m10, m11, m12, m13, m14, m15, m16, m17, m18, m19 As Integer
Dim m20, m21, m22, m23, m24, m25, m26, m27, m28, m29, m30, m31, m32, m33, riga, colonna As Integer
```

```

Dim conta, i As Integer
Dim entrata, ridella, camion, parafango As Integer
For i = 1 To 33
    Sheets("calcolocodice").Cells(2, i).Value = 0
Next
camion = 0
riga = 2
...
...
    Sheets("calcolocodice").Cells(2, 31).Value = 1
ElseIf entrata = 2 Or entrata = 3 Then
    Sheets("Analisi azioni").Select
    Range(Cells(riga + m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 + m7 + m8 + m9 + m10 + m11 + m12 +
m13 + m14 + m15 + m16 + m17 + m18 + m19 + m20 + m21 + m22 + m23 + m24 + m25 + m26 +
m27 + m28 + m29, 1), Cells(riga + m1 + m2 + m3 + m4 + m5 + m6 + m7 + m8 + m9 + m10 + m11
+ m12 + m13 + m14 + m15 + m16 + m17 + m18 + m19 + m20 + m21 + m22 + m23 + m24 + m25
+ m26 + m27 + m28 + m29 + m30 - 1, colonna)).Select
    Selection.Copy
    Sheets("FRANGER").Select
    Cells(conta, 1).Select
    ActiveSheet.Paste
    conta = conta + m30
    Sheets("calcolocodice").Cells(2, 30).Value = 1
End If
Userform1.Hide
MsgBox ("i risultati sono pronti")
End Sub

```

Codice VBA 6.1 - Codice per la creazione del database relativo alla cella caratteristica

Il codice tratta i dati nella finestra inseriti dal *lean manager* e li elabora confrontandoli con quelli presenti nel database del capitolo 4, creando una seconda tabella simile, dove sono state sequenziate solo le fasi corrette, secondo il metodo espresso precedentemente. I tempi e i movimenti della nuova tabella cambieranno di conseguenza in relazione alle caratteristiche puntuali della cella.

Il codice si basa sul numero di righe del database che descrive ciascuna fase, ottenuto tramite una tabella pivot apposita. Tramite questi valori e i dati immessi nella finestra, il codice “incolla” in sequenza le righe corrette modificando i dati secondo la compilazione della *userform*.

Le colonne di calcolo sono aggiornate automaticamente all’inserimento della cella e, per quanto riguarda i movimenti delle azioni, l’unica posizione iniziale fissata è la prima della fase 1 e le successive iniziali sono poste uguali a quelle finali dell’operazione precedente.

Per esempio, sono stati inseriti questi tipi di dati all’interno della *userform*:

The screenshot shows a window titled "nuova cella" with a close button in the top right corner. The form is organized into three main sections:

- informazioni generali** (General Information): Contains three input fields: "lunghezza (mm)" with value 3000, "larghezza (mm)" with value 1800, and "porte" with value 6.
- caratteristiche lavorazione** (Working Characteristics): Contains five dropdown menus: "modalità di spedizione" (camion), "telaio" (si), "dima fori" (no), "passo" (no), and "tipologia ridella" (plastica frame).
- aggiunte** (Additions): Contains eight dropdown menus: "parafanghi" (no), "barra paraciclistica" (si), "paraspruzzi" (camion), "gruppo frigo" (si), "presa" (si), "paracolpi" (si), "griglia" (si), and "sostegno barra incastro" (si).

At the bottom center of the form is a button labeled "aggiungi".

Figura 6.5 - Esempio di inserimento dati nella finestra di creazione della cella virtuale caratteristica

Tramite il sistema sono stati individuati automaticamente tutti gli indici e risultati del prodotto:

Somma di distanza (km)	1,843
Somma di tempo azione (ore)	3,77
indice ergonomico	1099,00

Tabella 6.2 - Risultati dell'esempio della cella virtuale

Questi valori sono significativi per l'analisi delle tempistiche di lavorazione delle richieste da parte del cliente ma anche per avere un'idea più precisa sulla modalità di organizzazione del lavoro della postazione.

Questi risultati sono anche rilevanti per la programmazione delle celle frigorifere da produrre, poiché tramite il loro tempo ciclo caratteristico, è possibile creare una schedulazione migliore dei prodotti in officina e tramite l'indice ergonomico avere la possibilità di livellare la quantità di sforzo che compie l'operatore giornalmente.

Inoltre, possono anche essere messi a confronto con il prototipo di cella media calcolati precedentemente per avere una maggiore consapevolezza della difficoltà del prodotto specifico.

Tramite alcune tabelle pivot, il sistema aggiorna la cella media con le caratteristiche specifiche di quella da determinare e si visualizzano i seguenti tre grafici raffiguranti i discostamenti:

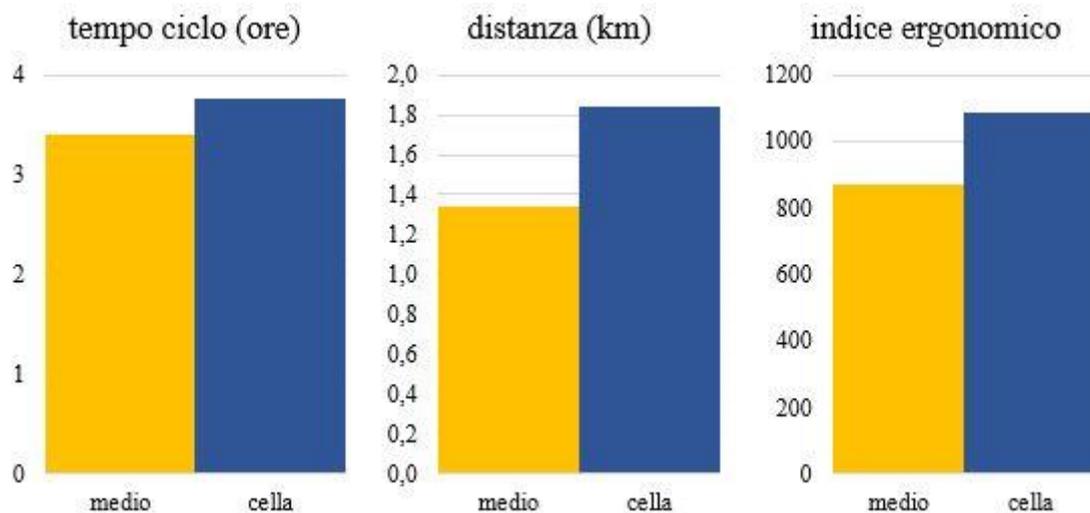


Figura 6.6 - Differenze tra i valori dell'esempio e della cella "media"

Come si nota dai grafici, essendo un esempio di cella molto ricca di caratteristiche, gli indici produttivi sono peggiorativi rispetto a quella media.

Inoltre, si è pensato anche di dare la possibilità di visualizzare gli spostamenti dell'operatore durante quella data lavorazione per avere informazioni sui movimenti stimati nella data in cui la cella entrerà in postazione.

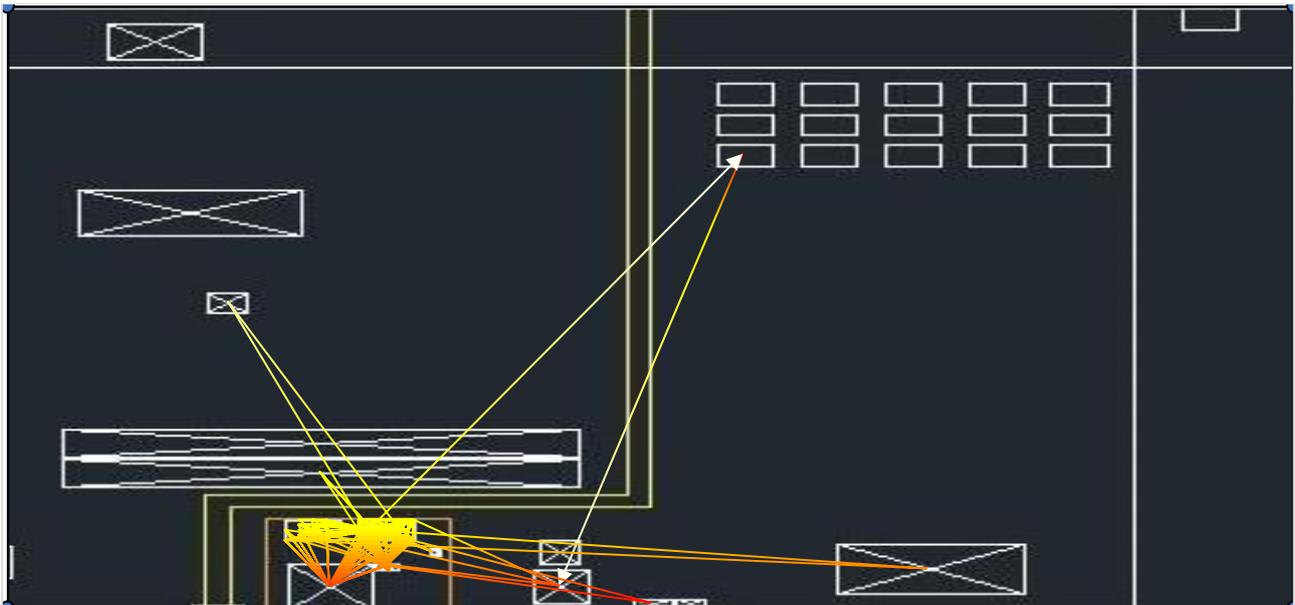


Figura 6.7 - Spaghetti chart virtuale

La figura 6.7 è ispirata allo *spaghetti chart* e descrive teoricamente quali siano gli spostamenti dell'operatore all'interno dell'officina. È stata prodotta tramite un grafico a dispersione con lo sfondo dell'officina quotato in modo corretto. La linea è colorata in modo differente, dal colore bianco, passando per il giallo fino al rosso, delineando quali movimenti avvengono inizialmente, durante e alla fine della lavorazione.

Come si vede dalla raffigurazione, ci sono alcuni spostamenti che sono fuori dalla postazione; questi sono dovuti a quelle operazioni che sono vincolate dalla macchina fissa apposita per compierle. Si nota comunque che la maggior parte dello spostamento avviene nelle vicinanze della cella.

Questo grafico potrebbe anche avere spunti interessanti per analizzare l'interazione dell'operatore con l'intera produzione. Se questo lavoro si facesse su tutte le postazioni presenti in officina si riuscirebbe a visualizzare quando le risorse si ostacolerebbero e quando sono all'interno della *golden zone* altrui. Questo potrebbe aiutare ad organizzare giornalmente l'intera attività dell'officina con l'identificazione della movimentazione totale e temporale delle risorse presenti.

Oltre ai movimenti è stato possibile anche visualizzare le operazioni statiche.

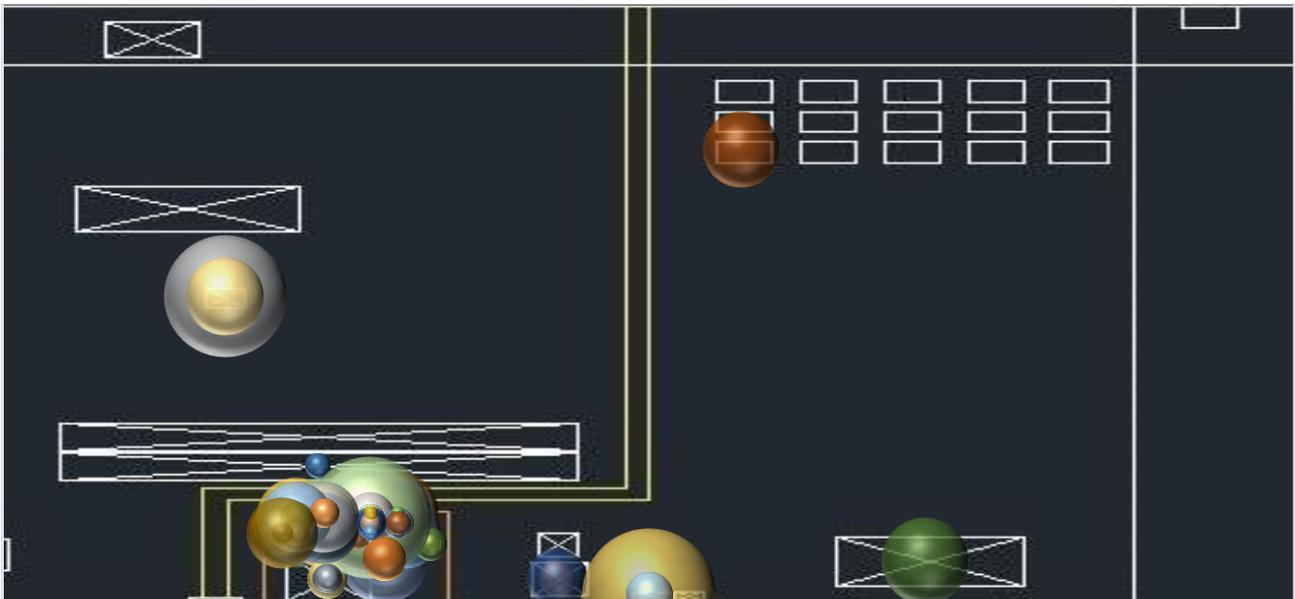


Figura 6.8 - Diagramma a bolle raffigurante i tempi delle operazioni statiche nel layout

La figura 6.8 rappresenta un grafico a bolle con lo sfondo del *layout* dove vengono raffigurate le durate riguardanti le azioni di valore aggiunto eseguite nella lavorazione della cella caratteristica; maggiore sarà la circonferenza della bolla e maggiore sarà il tempo necessario per eseguire l'operazione.

In questo grafico si può visionare la lavorazione in generale per identificare i punti dove l'operatore spende maggior tempo, per esempio si può vedere che le quattro azioni che avvengono fuori dalla *golden zone* hanno valori molto significativi.

Questo grafico è per avere un'idea chiara su larga scala, ma nella zona vicino alla cella, dove si concentrano la maggior parte delle operazioni, è poco comprensibile; quindi, è stato creato un grafico ulteriore:

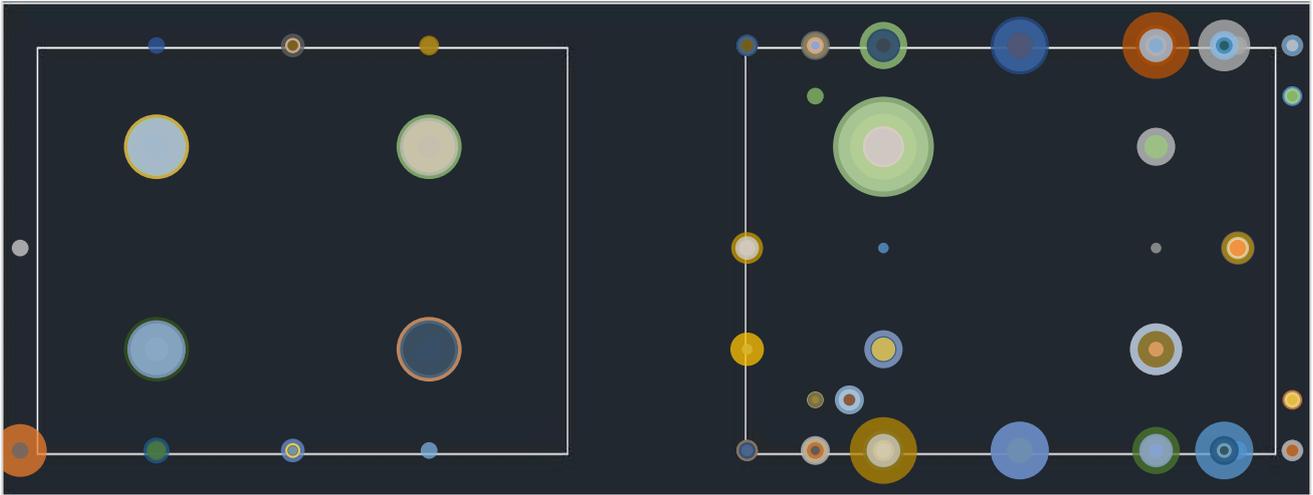


Figura 6.9 - Diagramma a bolle raffigurante i tempi delle operazioni statiche compiute sul camion e sulla cella

Questo raffigura il camion (rettangolo bianco sulla sinistra visto dall'alto) e la cella (rettangolo a destra) nelle posizioni stabilite dalle regole vigenti per il database e le bolle raffigurano i tempi delle operazioni statiche eseguite su ciascuno. Per esempio, le quattro bolle centrali sul camion sono dovute alla presenza delle lavorazioni di accoppiamento tra le mensole del camion e i fori del telaio, qualora il responsabile non avesse selezionato la modalità di spedizione caratterizzata da camion più telaio, la presenza di queste bolle non comparirebbe. Se invece non ci fosse stato né il falso telaio, né il camion, ma la modalità di spedizione della cella era sui cavalletti, nel rettangolo a sinistra non ci sarebbe presente neanche un cerchio.

Invece per quanto riguarda il prodotto refrigerante, si nota che l'azione avente maggior tempo di esecuzione avviene alla coordinata $(x=1/4 \times L; y=3/4 \times l)$ della cella con riferimento $(0;0)$ situato nel suo angolo a sinistra. Questa bolla si riferisce ad un'operazione appartenente alla fase numero 29 che descrive l'assemblaggio del gruppo frigorifero e dato che questo tipo di lavorazione è compiuta per la maggior parte del tempo sempre nello stesso punto, questa ha la dimensione che si avvicina al valore dell'intera fase.

Con questo studio, il responsabile di produzione possiede tutti i dati di interesse e anche un *report* molto dettagliato per quanto riguarda la lavorazione della cella frigorifera.

Inoltre, potrebbe essere utile anche nel caso in cui si voglia aggiungere una risorsa sotto il carroponte poiché sapendo quanto sia la durata delle fasi e le loro posizioni da tenere, è possibile studiare un metodo per l'ottimizzazione della distribuzione delle operazioni da far eseguire ad ogni operatore.

Questi grafici si attivano automaticamente tramite il codice scritto in VBA e si trovano nella stessa dashboard dove sono presenti i risultati numerici.

6.2 STANDARD WORK DIGITALE

In questo capitolo è stato progettato lo standard work digitale messo a disposizione dall'operatore e il sistema informativo che lo rende utilizzabile. Questo è stato possibile grazie ai dati catturati dalla finestra di inserimento della cella virtuale che permettono di identificare, per ogni prodotto, le caratteristiche presenti e di conseguenza la sequenza delle lavorazioni da compiere.

Questo lavoro crea una modalità veloce di flusso informativo dagli uffici alla produzione senza avere la necessaria presenza fisica del responsabile in officina.

Per quanto riguarda la standardizzazione, si usa di solito la tecnica di “*One Point Lesson*” cioè l'uso di un elemento fisico, per esempio un A4, sul quale rappresentare raffigurazioni o schizzi, oltre che stringhe di testo per informare l'operatore sulle lavorazioni da compiere.

Lo standard work serve, oltre ad informare l'operaio, anche per mantenere e migliorare le procedure da compiere in ogni azione da eseguire. Questo metodo è quello più immediato per applicare il concetto di miglioramento continuo in produzione ma deve essere sempre messo in discussione e cambiato continuamente in funzione dell'evoluzione della tecnologia e del prodotto da processare.

Date queste premesse, si è pensato di crearne uno flessibile che possa nel tempo essere modificato senza grandi sprechi di tempo o difficoltà.

Per questo si è creato uno *standard work* ad hoc per il carroponte che si basa sul *Visual Management* che è una modalità tramite il quale tutta l'organizzazione può venire a conoscenza delle informazioni e delle azioni chiare compiute nell'officina.

Le informazioni presenti nello standard work sono:

- Il punto di arrivo delle operazioni da compiere, cioè risultati e obiettivi;
- Gli standard su cui si basano le lavorazioni;
- Gli stadi intermedi;
- Possibili problemi o anomalie.

La parte fondamentale che deve essere presente vicino alle istruzioni della descrizione del lavoro, che funge da instradamento dell'addetto nelle sue operazioni, è quella visiva. Tramite questa, l'operatore può vedere come deve essere il prodotto finito prima di aver concluso la lavorazione. Per rendere di facile comprensione le informazioni, infatti, si possono usare fotografie, colori e immagini ma anche suoni che aiutano velocemente gli addetti a capire come devono compiere le operazioni.

Dato che in questo caso, lo standard work è collegato ad un sistema informativo, si è pensato di inserire, inoltre, anche uno strumento all'interno del video, che possa usare l'operatore per segnalare un guasto ai responsabili. Questi, dopo aver analizzato il guasto e scelto la migliore alternativa di

lavorazione da adottare, possono risolvere il problema così che l'operatore possa continuare il proprio lavoro senza creare difetti sul prodotto.

La predisposizione di questi strumenti non può essere inserita direttamente in produzione ma deve essere applicata a piccoli passi, poiché i lavoratori devono riuscire ad assorbire gli insegnamenti e questo non è un processo istantaneo. Per riuscire ad avere risultati convincenti, che determinano il miglioramento continuo (“*kaizen*”), è importante coinvolgere la risorsa nei programmi futuri e spiegare le motivazioni delle applicazioni introdotte, altrimenti questo non può funzionare nel lungo periodo.

Tramite lo studio effettuato precedentemente è possibile avere sia la sequenza del ciclo di lavorazione sia le proprietà del prodotto caratterizzato che si vuole produrre.

L'obiettivo di questo capitolo è creare un sistema istruttivo per il quale l'operatore possa seguire le indicazioni senza che debba spostarsi all'interno dell'officina per chiedere delucidazioni sulle operazioni da compiere.

La modalità di inserimento di questo standard work, studiato appositamente per la postazione al carroponte, ma anche trasferibile per le altre lavorazioni in produzione, rispetta pienamente il concetto di miglioramento continuo presente nel *lean thinking*:

- Deve essere graduale ma costante;
- Non richiede investimenti troppo rilevanti;
- Deve essere reversibile e non rischioso;
- Deve essere di rapida realizzazione e non richiede sforzi eccessivi.

Dato che la complessità di interfacciamento tra l'operatore e il sistema deve essere molto semplice e *user friendly*, l'introduzione dello standard work all'interno della produzione può essere implementato anche nel breve periodo, dato che la completa realizzazione è stata eseguita interamente nella tesi, sia per quanto riguarda le istruzioni sia per la creazione del sistema informativo.

Per quanto riguarda invece gli investimenti, essi non sono ragguardevoli dato che l'unico acquisto è il dispositivo elettronico, tale da garantire la vista degli *standard work*: è possibile scegliere un tablet per interfacciarsi, che però vincola l'operatore a spostarsi nella zona dove viene collocato, o un dispositivo di proiezione munito di telecomando che gli consentirebbe di aggiornare la sequenza da qualsiasi punto di lavorazione in cui si trovi.

Un altro aspetto fondamentale è quello della facilità di apprendimento da parte della risorsa durante la lettura delle istruzioni. Infatti, si è deciso di creare uno standard work diviso in fasi, per il quale l'operatore debba andare passo a passo, senza avere troppe istruzioni contemporaneamente per non

entrare in confusione sulle operazioni da eseguire. Queste fasi sono le stesse studiate nell'analisi del processo produttivo che saranno distribuite con uguali precedenze.

Il sistema a cui si è pensato è un video con attacco USB o con connessione *bluetooth* con il quale l'operatore dovrà interagire tramite telecomando; le interazioni saranno di tipo basilare in quanto la risorsa avrà la possibilità di azionare solo due pulsanti, uno per accedere alla fase di lavorazione successiva e uno invece per inoltrare un segnale di "help" al responsabile di produzione che dovrà intervenire per prendere decisioni sul prodotto caratteristico.

Una volta progettato a grandi linee quale sarà l'*hardware* che determinerà lo *standard work*, bisogna creare il motore che lo faccia funzionare in modo corretto, il codice VBA e le funzioni caratteristiche in Excel.

Per generare lo *standard work* bisogna risolvere due problemi:

1. Riconoscere la cella presente in produzione con le sue caratteristiche;
2. Visualizzare la sequenza corretta delle istruzioni e fasi.

Per risolvere il primo problema si è pensato di usare un codice a barre o *QR* che contenga la stringa caratteristica della cella generata tramite una funzione automatica.

Per il secondo problema invece si fa affidamento allo studio precedente, che date le proprietà del prodotto e le lavorazioni da compiere, determina la sequenza corretta.

6.2 APPLICAZIONE CON CODICE A BARRE

La stringa di codice contenuta all'interno del *barcode* è creata nel momento in cui il responsabile di produzione inserisce i dati della determinata cella nella *userform* adibita per la creazione virtuale del prodotto. Dall'inserimento dei valori all'interno della finestra, prima dell'entrata in lavorazione della cella, all'interno della *dashboard* con i risultati si genera automaticamente un codice a barre secondo il metodo descritto successivamente.

Dalle proprietà della cella caratteristica, il sistema riconosce le fasi attivate e le aziona secondo la tabella:

1	2	3	4	5	6	7	...	26	27	28	29	30	31	32	33
1	0	0	1	1	0	1	...	1	1	1	1	0	0	1	0

Tabella 6.3 - Metodo di identificazione delle fasi attivate del processo di lavorazione

5	7	1	1	3	4	0	1	1	1	1	1	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabella 6.5 - Stringa della cella caratteristica dell'esempio

Questo codice è facilmente tradotto in codice a barre tramite un *font barcode* che lo trasforma in una sequenza di linee di diverso spessore.



Figura 6.11 - Codice a barre della sequenza caratteristica

Una volta che la matrice corrispondente è stata generata automaticamente nella sezione dei risultati, il responsabile può procedere allo stampaggio del codice prima che vengano iniziate le lavorazioni sulla cella caratteristica all'interno dell'officina. Una volta creato il prodotto semifinito ed entrato in officina, il codice a barre può essere incollato su di esso e visualizzato dagli operatori.

Per decifrare il codice all'interno del *barcode* ci sono due possibili modalità di scannerizzazione nel caso della postazione al carroponte:

- Usare un laser Wireless o USB, dove il compito di scansionare il codice può essere o della risorsa alla lavorazione precedente al caricamento o quella nella postazione stessa;
- Dato che il percorso che dovrà compiere la cella per arrivare al carroponte è sempre lo stesso, una soluzione interessante sarebbe fissare un laser posizionato adiacente (rettangolo rosso) al passaggio tracciato in giallo nel layout che decodifichi direttamente il codice nel percorso per arrivare alla postazione.

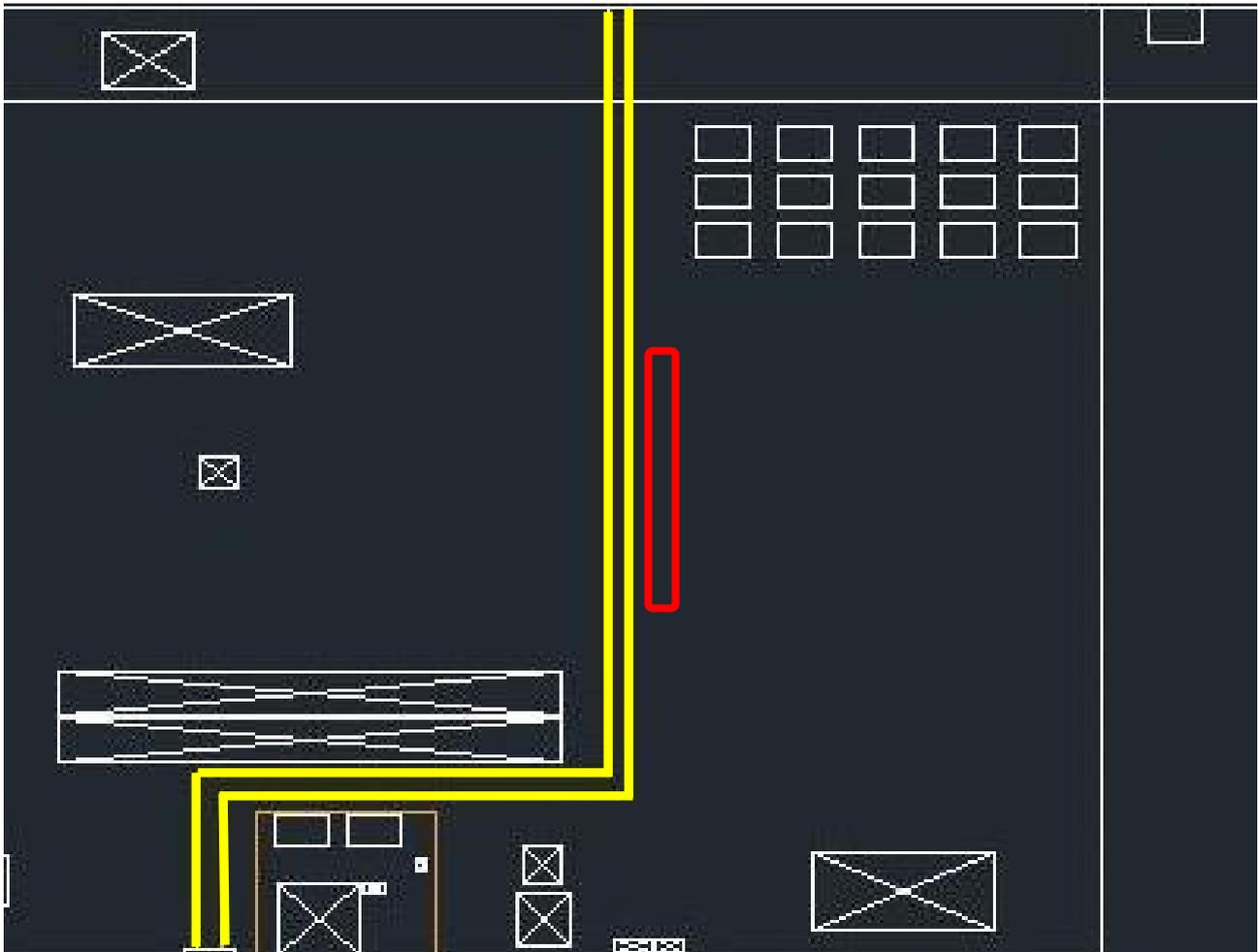


Figura 6.12 - Posizionamento laser in azienda

L'ultima soluzione libererebbe la risorsa dal trasporto della cella dalla posizione della lavorazione precedente a quella del carroponte che potrebbe utilizzare quel tempo per controllare la presenza della quantità congrua dei prodotti e predisporre la *work station* per il processo lavorativo successivo.

In questo caso il codice dovrà essere posizionato sulle celle sempre alla stessa altezza dal terreno corrispondente all'altezza del laser.

In questo caso, si potrebbe anche pensare di creare una movimentazione automatica dei carrelli sui quali si appoggiano le celle durante il loro movimento in officina tra le postazioni tramite l'adozione di *automated guided vehicles* (AGV) accuratamente codificati per eseguire gli spostamenti richiesti. Questo tipo di movimentazione è possibile introdurla per gli elementi attualmente spostati manualmente all'interno dell'officina.

La scansione del codice a barre è un semplice passaggio dal laser contenente la stringa al cursore del dispositivo collegato.

Il cursore sul dispositivo presente in officina è appositamente posizionato sempre nella stessa cella in Excel (in questo caso B5). All'interno del foglio di calcolo contenente il cursore è stato scritto un codice per il quale quando il valore della cella specifica cambia, si attiva una macro contenente il seguente codice VBA che determina il lancio dello *standard work*:

```
Private Sub Worksheet_SelectionChange(ByVal Target As Range)
    If Not Intersect(Target, Range("d1")) Is Nothing Then
        user1.Show
    End If
End Sub
```

Codice VBA 6.2 - Codice di avvio dello standard work

Quindi se il puntatore rimane sempre nella posizione corretta, ogni volta che viene decodificato un codice, parte la sequenza di codice VBA 6.2.

Con questo tipo di codice sullo schermo appare una *userform* detta user1 che spiega la prima fase che dovrà eseguire l'operatore sulla cella.

La creazione dello *standard work* è avvenuta tramite la definizione di 33 *userform* che corrispondono alle 33 fasi del processo. Come già chiarito inizialmente, la prima scheda di istruzioni è standard, denominata user1, che si riferisce alla fase 1 presente nel diagramma dei percorsi.

Questa, presa come esempio delle restanti 32, è stata rappresentata nel modo seguente:

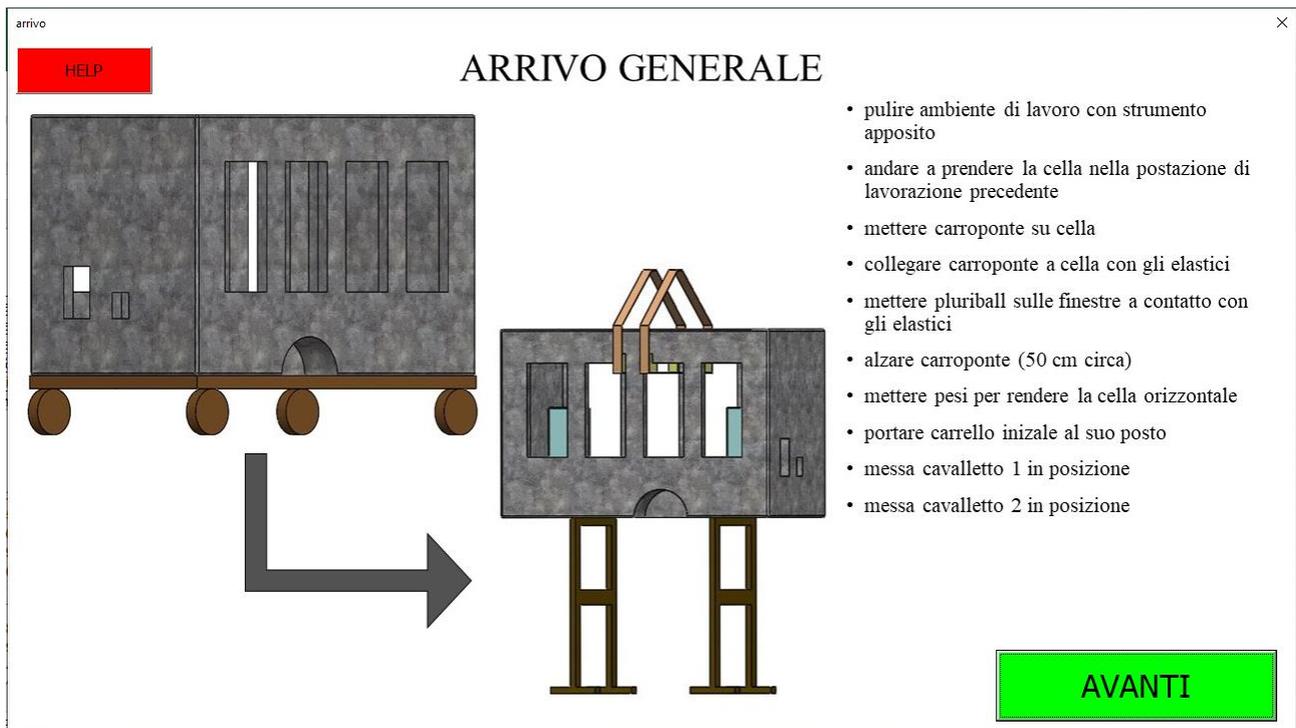


Figura 6.13 - Prima diapositiva nello standard work ad attivazione con codice a barre

Ogni *userform* presente nella sequenza dello *standard work* è formata da alcune caratteristiche:

- Nella parte alta della diapositiva si trova il titolo della fase che descrive in poche parole la lavorazione da eseguire;
- Nella parte sinistra dello schermo l'operatore si troverà la parte "*visual*", prodotta accuratamente su Solidworks, nel quale viene fornito un aiuto supplementare nella comprensione delle indicazioni. Le proporzioni dei disegni illustrati sono molto simili a quelle reali cercando di descrivere al massimo le forme e le dimensioni della componentistica presente.

Per ogni raffigurazione la cella caratteristica è "spoglia" di prodotti su cui sono descritte solamente le operazioni della fase azionata senza tener conto di quelle precedenti dato che ogni volta possono variare;

- Nella parte destra della *userform* sono presenti le informazioni generali che, con l'aiuto delle raffigurazioni in 3D, forniscono tutti gli aiuti necessari per eliminare le incertezze sulla lavorazione all'operatore;
- Il tasto "HELP" invece lancia un segnale acustico o visivo su un possibile monitor generale avvisando il responsabile di un guasto precedente o di un problema sorto durante la lavorazione stessa. Questa funzione è stata introdotta perché l'operatore possa essere tutelato

e sicuro di aver avvisato del disguido ma anche per sapere dove l'errore si manifesta e quali sono le azioni correttive da compiere nel caso in cui avvenga una seconda volta;

- Nella parte destra in basso invece si trova il pulsante “avanti” che viene azionato dall'operatore una volta concluse le operazioni presenti all'interno della finestra. Questo consente di accedere alle fasi successive fino ad arrivare a quella conclusiva.

All'interno del pulsante di avanzamento chiamato nel linguaggio VBA “*CommandButton*” è presente un altro codice che ha l'obiettivo di trasformare le precedenze e le implicazioni logiche di percorso presenti nel diagramma dei percorsi nel linguaggio VBA.

Per esempio, dopo aver scansionato il codice a barre, sul display verrà sempre visualizzata la diapositiva dell'arrivo iniziale ma da questo si possono delineare diverse strade in funzione della stringa presente.

In particolare, nel tasto “avanti” della prima *userform* sarà presente questo tipo di codice:

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
    user1.Hide  
    If Sheets("calcolocodice").Cells(6, 1).Value = 5 Then  
        User5.Show  
    ElseIf Sheets("calcolocodice").Cells(6, 2).Value = 3 Then  
        User3.Show  
    ElseIf Sheets("calcolocodice").Cells(6, 2).Value = 2 Then  
        User2.Show  
    Else: User8.Show  
    End If  
End Sub
```

Codice VBA 6.3 - Codice presente nel tasto dello standard work per passare dalla prima diapositiva alla successiva

Come descrive il codice, dopo lo *standard work* si può passare per 4 archi dipendentemente al codice introdotto per la cella frigorifera caratteristica. Nell'esempio riportato si attiverà la diapositiva numero 5.

6.3 APPLICAZIONE CON QR CODE

Dopo la creazione del codice a barre ci si è domandati quale sia la quantità di dati corretta da attribuire alla stringa per trasferire anche le caratteristiche più specifiche dei prodotti durante la decodificazione della matrice.

Nel caso precedente non vi erano espressi i valori numerici descrittivi dei componenti da assemblare alla cella perché si è deciso di scegliere una tipologia di codice a barre formato da 13 numeri poiché è la lunghezza della stringa più comune e i laser capaci a decifrarli sono quelli più facili da trovare.

Se si volesse invece aumentare i dati e quindi le informazioni contenute nello standard work si potrebbe optare per la sostituzione del codice a barre con quello QR.

Il *QR code* è un codice a barre bidimensionale capace di trasferire dopo la sua scannerizzazione diversi tipi di stringhe, dall'URL all'*sms*, fino a quello che interessa all'interno di questo studio che è di tipo custom.

In questo caso, si vuole ottenere una stringa più ampia di 13 caratteri che contenga anche i dati puntuali descrittivi delle varie peculiarità assemblate alla cella.

Il *QR code* utilizzato, essendo di tipo custom, contiene anch'esso una sequenza di cifre, che oltre ad avere le informazioni sulle fasi, possiede anche le caratteristiche dei componenti presenti nella tabella 4.2.

Per creare la stringa, si è studiato quale fosse la lunghezza adatta cercando di permettere al codice di trasmettere tutte le proprietà necessarie.

Per questo, si è creata questo tipo di tabella che analizza i dati presenti nella tabella 4.2 estrapolando alcune informazioni:

caratteristiche cella			max n° cifre	cifre	stringa codice
larghezza cella	1800	mm	4	4	1800
lunghezza cella	3000	mm	4	4	3000
fori sotto la cella	16		2	2	16
...
mensole aggiuntive	4		2	1	04
graffette cavo camion	4		2	1	04

Tabella 6.6 - Metodo nella creazione della stringa presente nel *QR code*

Come si vede nella tabella 6.6, per ogni caratteristica presente in tabella sono stati calcolati:

- Il massimo numero di cifre del valore massimo numerico che può descrivere quella proprietà con l'unità di misura prescelta;
- Le cifre descrittive presenti per la cella in esempio;
- La sequenza di codice che nel caso seguente descriverà quella peculiarità.

Per esempio, per quanto riguarda le mensole aggiuntive sul camion, vi è la possibilità che ce ne siano più di 9 e quindi, perché lo *standard work* funzioni sempre, sono state affidate 2 cifre invece che solamente una per descrivere la peculiarità.

La stringa di codice è stata ottenuta in funzione alle colonne precedenti tramite la combinazione delle funzioni “più.se” e “concat” presenti su Excel.

Una volta ottenuti i valori della colonna “stringa codice” sono stati concatenati nell'ordine previsto dagli standard.

Si è deciso nel caso del *QR code* di disporre le prime 13 cifre nello stesso modo del codice a barre e le successive 85 di sequenziare le stringhe di codice presenti in tabella dall'alto verso il basso della tabella 6.7 ottenendo in questo caso il codice seguente:

57113401111131800300016622040442201004223253096200442410424224250040621623333340606222410420012222

Questo codice sarà automaticamente presente all'interno della dashboard dei risultati, dopo aver inserito le caratteristiche della cella virtuale da parte del responsabile, che dovrà inserire la seguente stringa all'interno di qualsiasi app predisposta per la creazione del *QR code*.

A differenza del codice a barre, che si attiva direttamente nel foglio Excel, il metodo con il QR richiede l'utilizzo di un'applicazione esterna per la creazione della matrice.

In questo caso il simbolo corrispondente sarà di questo tipo:



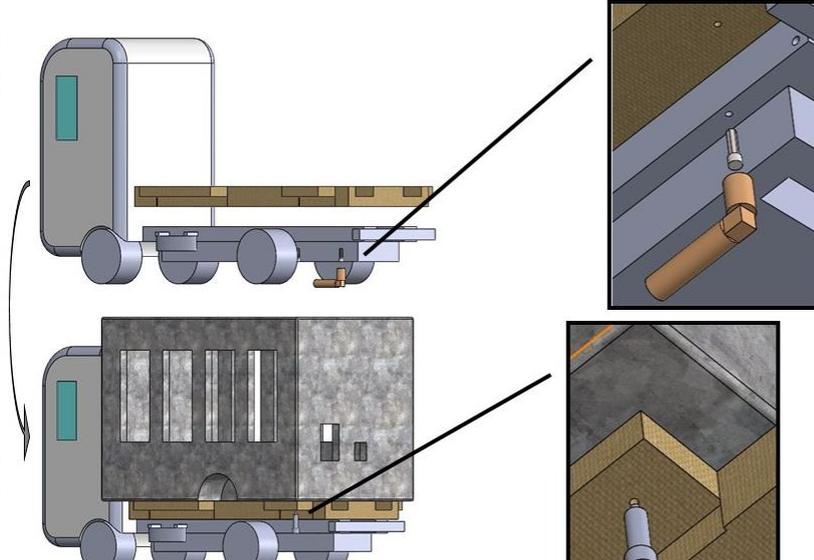
Figura 6.14 - QR code della cella presa in esempio

Una volta ottenuto sul computer è possibile stamparlo e incollarlo, come il *barcode*, sulla cella e il funzionamento in officina risulta essere uguale al precedente.

Invece, per quanto riguarda lo *standard work*, diventa maggiormente descrittivo come nell'esempio della fase 7:

UserForm7

**PREPARAZIONE CAMION CON FALSO
TELAIO**



- prendere telaio e lo metterlo con muletto sul camion e farlo scivolare nella posizione corretta
- tagliare e mettere 4 fascette in plastica nera saltando i buchi da accoppiare tra camion e telaio
- Inserire 8 bulloni manualmente con rondella tra telaio e camion
- Stringere 8 bulloni tramite avvitatore automatico e chiave
- mettere cella sul camion da cavalletti
- segnare sulla cella 16 fori del telaio tramite barella con ruote e accertarsi che ci sia il ferro negli alloggiamenti con martello
- alzare cella e rimetterla su cavalletti
- allacciare 2 fili ben vicini a camion

AVANTI

Figura 6.15 - Esempio di *standard work* attivato da QR code

Come si evince dall'esempio, l'operatore è ora perfettamente informato sulla quantità di prodotti e azioni che dovrà compiere, e questo fa sì che gli errori umani si riducano ampiamente.

7 CONCLUSIONE

Il lavoro svolto è stato eseguito tramite gli apprendimenti conseguiti in alcuni corsi di Magistrale in Ingegneria Gestionale:

- Analisi e gestione dei sistemi produttivi;
- Gestione di progetti;
- Sistemi informativi.

Oltre ad aspetti puramente teorici sono stati fondamentali alcuni software imparati in questi due anni, quali Solidworks, Visio ed Excel che hanno permesso la realizzazione dei calcoli e delle rappresentazioni di base effettuate. Infine, per quanto riguarda i calcoli automatici di complessità maggiore sono stati eseguiti grazie alla scrittura in VBA nei fogli di calcolo Excel che hanno permesso di creare dei metodi di analisi maggiormente innovativi.

Con lo studio effettuato si sono eliminati la maggior parte dei *muda* presenti nella lavorazione che influivano sia nella sequenza delle operazioni che nel flusso informativo aziendale.

Per quanto riguarda l'analisi delle operazioni in officina, tramite i metodi applicati nella logica *lean*, sono stati evidenziati molti vantaggi sia in termini di produttività che di ergonomia dell'operatore che nello studio di tesi è parte integrante e fondamentale per il miglioramento della lavorazione.

Invece per il passaggio di informazioni nello stabilimento è stata attuata una soluzione che potesse, oltre che facilitare la correttezza dei dati trasmessi, anche ottenere una migliore consapevolezza del prodotto finito.

Tramite il sistema informativo è stato creato uno standard, grazie al quale l'azienda ora può avere:

- Una programmazione migliore del lavoro;
- Dei dati analitici su cui basare le strategie future;
- Operatori maggiormente istruiti;
- Una maggiore predisposizione al cambiamento.

L'intero studio di tesi è stato analizzato ed è possibile renderlo operativo già nel breve periodo all'interno dell'azienda perché è stato già interamente testato, compreso il sistema informativo.

Infine, è possibile pensare che questo lavoro, invece che applicarlo all'interno di una sola postazione, possa essere compiuto su tutte le lavorazioni presenti nell'azienda. Questo consentirebbe un miglioramento del sistema produttivo e del trasferimento di informazioni aziendale generale oltre che il possesso di una grande mole di dati che in futuro potrebbero divenire fondamentali per la strategia da seguire.

8 APPLICAZIONI ESTERNE UTILIZZATE

All'interno dello studio sono state usate applicazioni per la creazione delle matrici bidimensionali:

- Per la creazione del codice QR è stata usata l'applicazione QR4Office;
- Per la creazione del codice a barre invece è stato scaricato da un sito Internet il font richiesto.

9 SITOGRAFIA

www.easylean.it MTM Methods Time Measurement

www.itisothoca.edu.it Lezione n.1 Tempi e metodi

www.moodle.adaptland.it Patacchia Lorenzo, La disciplina dei tempi di lavoro nel sistema Ergo-UAS. Problemi e prospettive, 2017

www.my.liuc.it TEMPI E METODI

www.operaieteoria.it ergo uas ergonomia dello sfruttamento

www.sabbatiniconsulting.it CONTROLLO POSTAZIONE DI LAVORO SUVA, Controllo rapido della postazione di lavoro Istruzioni per l'uso

www.uilm-piemonte.it TEMPI E METODI BASE

www.umbertosantucci.it i 7 sprechi muda

www.utekvision.com banco da lavoro postazione ergonomica

www.wikipedia.org Congiunzione logica

www.wikipedia.org Lettore di codice a barre