



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Anno Accademico 2023/2024

Sessione di Laurea Dicembre 2024

Analisi ed ottimizzazione dei flussi di un processo produttivo

Caso studio Fashion

Relatore:

Prof. Luca Iuliano

Tutor aziendale:

Daniele Bassan

Candidata:

Flavia Fontana

Matricola: 305176

*A mio padre, il mio Angelo.
Spero che, ovunque tu sia,
possa continuare a guardarmi con gli occhi pieni di orgoglio,
come lo sono i miei nell'essere così simile a te.
Ovunque andrò, ti porterò con me.
A mia madre, farò di luce, che mi ha tenuto la mano nei momenti difficili.
Grazie per essere sempre esempio di forza e positività.
A mio fratello Giuseppe, la mia metà, in grado di farmi ritrovare i colori
anche quando vedo solo in bianco e nero.
Sapere di poter camminare sempre affianco a te,
non mi fa mai sentire sola.
Vi ringrazio per i sacrifici fatti e per avermi dato
la possibilità di raggiungere questo traguardo.*

Indice

Introduzione	8
1. Automazione.....	10
1.1 Cenni storici	10
1.1.1 Integrazione prodotto e processo.....	11
1.2 Sistema di produzione	11
1.2.1 Livello di automazione	12
1.2.2 Flessibilità e tipologie di linee.....	13
2. World Class Manufacturing	21
2.1 Lean Production.....	21
2.1.1 Just In Time	22
2.1.2 Push e Pull:	22
2.2 Total Productive Maintenance	23
2.3 Total Quality Management.....	24
2.3.1 Ciclo di Deming	24
2.4 Il metodo del World Class Manufacturing.....	26
2.4.1 Struttura del WCM	27
3. Simulazione della produzione	33
3.1 La simulazione.....	33
3.1.1 Il ciclo della simulazione.....	35
3.2 Modelli di simulazione.....	37
3.2.1 Simulazione ad eventi discreti.....	38
3.3 Il Digital Twin	38
4. Plant Simulation.....	40
4.1 Principali oggetti utilizzati	41
4.1.1 Event Controller	41
4.1.2 Toolbox.....	42
4.1.3 Source e Part.....	43
4.1.4 Station.....	44
4.1.5 Drain	45
4.1.6 Conveyor	45
4.1.7 Buffer.....	46
4.1.8 Store.....	47
4.1.9 Assembly Station.....	48
4.1.10 Worker	49

4.1.11 AGV	50
4.1.12 Pallet.....	51
5. Caso studio Fashion.....	52
5.1 Analisi dei flussi dell'attuale processo produttivo	52
5.1.1 Preparazione della pelle	53
5.1.2 Taglio della pelle.....	53
5.1.3 Preparazione dei componenti.....	53
5.1.4 Assemblaggio.....	54
5.1.5 Rifiniture e controllo qualità.....	54
5.1.6 Imballaggio e spedizione	55
5.2 Modello AS-IS	55
5.2.1 Creazione del modello	56
5.2.2 Analisi dei KPI.....	68
5.3 Modello TO-BE.....	71
5.3.1 Primo scenario	71
5.3.2 Secondo scenario	76
5.4 Varianti.....	79
5.4.1 Analisi dei KPI.....	86
5.5 Valutazione energetica ed economica	89
5.5.1 Analisi energetica.....	89
5.5.2 Analisi economica.....	92
6. Analisi dei risultati.....	95
7. Conclusioni e prospettive future.....	98
Bibliografia	99
Ringraziamenti.....	102

Abstract

Il presente lavoro di tesi magistrale si propone di analizzare ed ottimizzare un flusso produttivo, attraverso l'utilizzo di un software di simulazione "Digital Twin".

Grazie all'utilizzo della simulazione, infatti, è stato possibile creare una demo che facesse riferimento alla produzione di componenti in pelle, intitolata "caso studio Fashion".

L'obiettivo principale è stato quello di identificare e valutare diverse configurazioni dell'impianto produttivo, al fine di aumentare la produttività o variare il numero ed il tipo di prodotti realizzati.

Il lavoro svolto ha avuto inizio con un'attenta analisi dello stato attuale del sistema produttivo, seguita dalla creazione del modello virtuale rappresentativo del processo.

Analizzando differenti **KPI (indicatori di prestazione)** sono stati testati i vari scenari, evidenziando le interazioni tra le diverse fasi produttive ed i relativi impatti su tempi ciclo, produttività e flessibilità. L'integrazione del software ha permesso di evidenziare, in breve tempo, come all'interno di un flusso produttivo un ruolo chiave sia svolto dall'automazione, allineandosi ai principi del World Class Manufacturing (**WCM**) volti ad ottimizzare l'efficienza operativa.

I risultati ottenuti dimostrano come l'applicazione della metodologia "Digital Twin" possa fornire informazioni utili per il miglioramento continuo del flusso produttivo e rispondere in modo agile alle nuove esigenze di mercato.

Le conclusioni del presente studio, offrono spunti per ulteriori ricerche e azioni pratiche nel settore della produzione.

Introduzione

Con l'affermarsi delle nuove tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 e con il continuo progredire dell'innovazione tecnologica, si è visto come la necessità da parte delle aziende di restare competitive sul mercato sia diventata sempre più impellente. Esse devono infatti essere quanto più dinamiche possibile in modo da adattarsi facilmente alle diversificate richieste del cliente, che devono essere soddisfatte in tempi relativamente brevi; ciò lo si rende possibile sfruttando proprio i moderni sviluppi tecnologici.

Il primo passo per poterlo fare è rappresentato da un'attenta analisi dei processi produttivi, che si articola partendo innanzitutto dallo studio dell'organizzazione della struttura aziendale, utile a poter collocare ciascuna risorsa nel modo più funzionale possibile. Una volta stabilito l'organico, si può passare allo studio della linea produttiva con conseguente individuazione e risoluzione di eventuali problematiche come ad esempio i colli di bottiglia che possono rallentare la produzione. Si è affermato dunque negli anni un vero e proprio *modus operandi* rappresentato dal **World Class Manufacturing (WCM)**: un insieme di principi tecnici e manageriali che fanno da guida per la realizzazione di riprogettazione dell'azienda e dunque di raggiungimento di una maggior competitività.

In quest'ottica, uno dei fondamenti della quarta rivoluzione industriale ampiamente utilizzato è rappresentato dalla simulazione, anche nota nello specifico come "Digital Twin" che consente di ricreare digitalmente una linea produttiva reale in modo da poterne studiare il processo ed ottenere dei risultati in termini di numero di risorse o numero di macchine da allocare, produttività ed efficienza, con conseguenti numerosi vantaggi tra cui sicuramente il più importante è rappresentato da un risparmio di costi. È evidente che particolarmente importante risulta anche il concetto di automazione che con il passare degli anni ha consentito di affidare alle macchine compiti un tempo svolti principalmente dall'uomo. È infatti tramite gli odierni sistemi automatici che viene ripensato il concetto di linea produttiva.

Il presente lavoro di tesi magistrale, svolto nell'ambito di un progetto formativo presso l'azienda *Accenture Outsourcing Srl*, si pone come obiettivo proprio quello di studiare l'ottimizzazione di un processo produttivo, dapprima concettualmente ed in seguito applicando i vari principi e metodi analizzati, tramite l'utilizzo di **Tecnomatix Plant Simulation**, software di Digital Twin. Il caso studio analizzato nello specifico è rappresentato da un'azienda Fashion, produttrice di tessuti e capi d'abbigliamento.

La seguente trattazione è stata pensata partendo da un excursus sullo stato dell'arte, fino a giungere all'applicazione in ambito pratico di quanto finora menzionato.

Nel primo capitolo è stato affrontato il tema dell'automazione, in quanto si è ritenuto necessario fornire delle informazioni preliminari che potessero rappresentare nozioni base, utili a comprendere quanto in seguito sviluppato.

Con lo stesso proposito, il secondo capitolo tratta più nello specifico il concetto di **WCM**.

Si è ritenuto opportuno proseguire poi con un'esposizione più dettagliata sulla tecnologia della simulazione, dedicando maggior attenzione a quella ad eventi discreti. Ciò è stato fatto nel terzo capitolo.

Il quarto capitolo tratta più specificatamente la descrizione del software **Tecnomatix Plant Simulation**, utilizzato nell'ambito di questa tesi per poter simulare l'impianto produttivo del caso studio.

Proseguendo con il quinto capitolo, viene descritta la realtà produttiva dell'azienda che rappresenta il soggetto applicativo del presente progetto di tesi. Viene innanzitutto analizzato l'attuale processo produttivo sia da un punto di vista teorico sia analizzando, tramite l'utilizzo del software, gli eventuali colli di bottiglia e perdite: è stato creato il modello AS-IS. A seguito delle prime analisi fatte, sono stati ipotizzati eventuali scenari differenti che potessero portare ad un aumento dell'efficienza e della produttività: si tratta dei modelli TO-BE.

I risultati fin qui ottenuti sono stati dunque sottoposti ad analisi nel sesto capitolo, in cui sono state ricercate le correlazioni tra quanto analizzato nel modello attuale con quanto ipotizzato come eventuale alternativa.

Il settimo ed ultimo capitolo rappresenta dunque la sezione conclusiva di questa tesi all'interno della quale si pone attenzione a quelle che possono essere le prospettive future di quanto studiato.

1. Automazione

1.1 Cenni storici

In passato, prima dell'avvento dei calcolatori, i prodotti venivano realizzati manualmente e le attività erano affidate alle abilità dell'operatore, tali da consentire la realizzazione di particolari estremamente complessi; tuttavia, il limite era rappresentato dalla massima quantità producibile. Le esigenze derivanti dall'incremento della produzione e dalla riduzione di tempi e costi, infatti, hanno portato all'automazione delle attività e dei sistemi di produzione. [1]

Il termine “*automazione*” nasce per identificare tutto ciò che è necessario per far funzionare una macchina (o un processo) in modo automatico, ossia senza l'intervento dell'uomo. Dal punto di vista storico, l'automazione è nata con il principale scopo di sostituire l'uomo in compiti ripetitivi e nocivi, con apparecchiature in grado di operare in modo autonomo e con minimi interventi da parte dell'operatore umano. Tuttavia, i primi miglioramenti hanno portato ad un'automazione rigida poiché, ad esempio, la variazione delle forme realizzabili per un prodotto richiedeva la sostituzione dei pezzi necessari, con costi elevati e tempi lunghi per il cambio della produzione.

In quest'ambito di automazione Frederick Taylor e Henry Ford hanno introdotto la parzializzazione delle attività ed i principi della produzione di massa, rivoluzionando i sistemi di produzione: erano i tempi della Rivoluzione Industriale. Essa si articola in diverse tappe:

1. **Industry 1.0** (1784): meccanizzazione, potenza del vapore, telaio di tessitura;
2. **Industry 2.0** (1870): produzione di massa, linee di assemblaggio, energia elettrica;
3. **Industry 3.0** (1969): automazione, computer, elettronica;
4. **Industry 4.0** (oggi): sistemi fisici informatici, internet delle cose, rete dati. [2]

Grazie ai principi introdotti, le macchine utensili sono state interconnesse per formare le prime linee di produzione rigide, costose ed in grado di realizzare un'unica tipologia di prodotto. La scelta era comunque giustificata dalle limitate esigenze del mercato, riconducibili essenzialmente alla disponibilità del prodotto: non vi era alcuna esigenza di diversificazione. Ad esempio, per la FIAT 500 degli anni '60 le varianti disponibili erano davvero molto poche ed interessavano parti marginali del prodotto, come ad esempio il colore. Con il progredire del tempo, proprio per introdurre una maggior diversificazione del prodotto, si è cambiato approccio alla produzione, dismettendo le linee rigide.

Si è passati dunque all'introduzione dei motori elettrici e dei dispositivi elettronici allo stato solido, che hanno permesso di rendere indipendenti le macchine tra di loro dal punto di vista della potenza e del sistema di controllo. In seguito, le crescenti esigenze legate alla flessibilità, hanno portato all'adozione di metodi matematici ed euristici per la pianificazione ed il controllo della produzione: si gettano le basi del **CIM** (“*Computer Integrated Manufacturing*”, ossia produzione integrata con il calcolatore) in cui i calcolatori vengono utilizzati nella produzione per i controlli numerici delle macchine utensili e per i PLC (controllori a logica programmabile) per la gestione dei primi sistemi di automazione flessibili. Perché però la fabbricazione integrata dal calcolatore abbia successo, è necessario ripensare alla fase di definizione del prodotto. Questa deve essere strettamente connessa alla fase di definizione del processo produttivo e non slegata come avveniva in passato. [1]

1.1.1 Integrazione prodotto e processo

La progettazione e produzione assistita dal calcolatore rappresenta una filosofia in cui il calcolatore gioca un ruolo centrale per la progettazione, la pianificazione ed il controllo della produzione che deve avvenire con le macchine che siano quanto più moderne possibile (CNC, celle flessibili, robot, CMM...). La *Cuncurrent Engineering* non è altro che la definizione integrata di prodotto e di processo, una metodologia di produzione ormai perseguita da tutte le aziende che producono un bene di largo consumo in modo tale da rimanere competitive sul mercato. Occorre tener presente sin dalle prime fasi dello sviluppo del prodotto tutti gli aspetti che intervengono nel ciclo di vita dello stesso, dalla producibilità, al montaggio, all'affidabilità, ai costi, ecc. In altre parole, bisogna coinvolgere sin da subito tutte le funzioni aziendali nella pianificazione e realizzazione di un nuovo prodotto; deve esserci un continuo scambio di informazioni bidirezionale che consenta alle funzioni a valle di proporre immediatamente eventuali variazioni riguardo le scelte progettuali.

Bisogna dunque che ci sia un rinnovamento aziendale che deve prevedere anzitutto delle modifiche della struttura organizzativa. Si passa dalla tradizionale gestione del progetto secondo la suddivisione per funzioni ad una in cui il progetto viene sviluppato da un team interfunzionale guidato da un responsabile a tempo pieno. I vantaggi legati alla integrazione di prodotto e di processo, sono diversi:

- Riduzione del tempo di flusso globale per la progettazione del prodotto e del processo;
- Facilità nell'individuazione e nella correzione degli errori per la presenza nel team di sviluppo delle varie funzioni aziendali;
- Semplificazione nella gestione delle modifiche richieste dal cliente e riduzione dei tempi di risposta;
- Incremento della competitività dell'azienda;
- Possibilità di definire risorse hardware e software compatibili per le varie funzioni aziendali;
- Miglioramento delle relazioni interne all'azienda. [1]

1.2 Sistema di produzione

L'automazione non riguarda soltanto la movimentazione della macchina, ma anche l'immagazzinamento che comprende:

- Pallettizzatori e depallettizzatori;
- Linee di trasporto automatiche;
- Automated Guided Vehicles (AGV) – magazzino automatizzato.

L'automazione industriale, in particolare, sfrutta tecnologie meccaniche, elettroniche ed informatiche per il controllo dei processi produttivi industriali, governando flussi di energia, di materiali e di informazioni.

Si definisce poi, *sistema di produzione* un insieme integrato di macchinari e risorse umane che compie una o più operazioni di trasformazione o di montaggio su un grezzo, una parte o un insieme di parti. I macchinari integrati comprendono:

- Macchine ed utensili per la lavorazione;
- Sistemi di movimentazione;
- Attrezzatura di bloccaggio;

- Computer in grado di coordinare e/o controllare gli altri componenti.

L'automazione permette di aumentare la produttività attraverso una riduzione dei tempi. Il tempo ciclo è costituito da un tempo di preparazione (tempo di set-up), un tempo di produzione (ad esempio tempo di taglio), un tempo improduttivo (spostamento dell'utensile, cambio utensile...) che non aggiunge valore al prodotto. Con l'automazione si agisce su uno di questi tempi.

Il tempo ciclo (t_{ciclo}) è l'intervallo di tempo in cui la linea di produzione deve produrre un singolo prodotto o parte:

$$t_{ciclo} = t_{produttivo} + t_{improduttivo} + \frac{t_{set-up}}{Q}$$

dove Q rappresenta il numero di pezzi prodotti.

I fattori che influiscono su ciascun tempo son:

- Specializzazione delle operazioni → $t_{improduttivo}$;
- Operazioni contemporanee → $t_{produttivo}$;
- Riduzione dei tempi di attrezzaggio → t_{set-up} ;
- Automazione della movimentazione dei pezzi → $t_{improduttivo}$.

L'automazione, come già anticipato nel *Paragrafo 1.1*, ha dunque subito un'evoluzione:

- Manuale: tutte le funzioni di controllo e quelle ausiliarie (carico, scarico, collaudo...) sono affidate all'uomo;
- Semi-automatico: la macchina semiautomatica (controllo numerico) riduce l'intervento dell'uomo nel ciclo ma, a causa della maggior produttività, richiede un maggior impegno nelle attività ausiliarie;
- Automatico: il processo e la movimentazione del pezzo sono automatiche, il collaudo è affidato all'uomo;
- Automatico con controllo in linea: il collaudo è automatizzato, il risultato della misura interagisce col processo, l'intervento è richiesto solo in caso di guasto. [2]

1.2.1 Livello di automazione



Figura 1: Classificazione dell'automazione

L'indice di presidio rapporta il numero degli operatori rispetto al numero di macchine e definisce il *livello di automazione* del sistema. Questo parametro si calcola come:

$$M = \frac{w_u + \sum_{i=1}^n w_i}{n}$$

dove:

- w_u : numero di operai indiretti addetti alla linea;
- w_i : numero di operai diretti assegnati alla stazione i ;
- n : numero di stazioni di lavoro

Si possono distinguere diversi tipi di stazione a seconda di w_i , n ed M :

- Tipo 0: stazione singola con operatore ($n = 1, w_i = 1, M = 1$);
- Tipo 1: stazione singola in grado di operare per periodi di tempo lunghi in modalità “non sorvegliata” ($n = 1, w_i = 0, M < 1$);
- Tipo 2: sistema a più stazioni tutte sorvegliate ($n > 1, w_i = 1, M > 1$);
- Tipo 3: sistema a più stazioni completamente automatiche ($n > 1, w_i = 0, M < 1$);
- Tipo 4: sistema a più stazioni ibrido, alcune stazioni sono sorvegliate ed altre sono totalmente automatiche ($n > 1, w_i = 0$ oppure $w_i = 1, M < 1$).

L'indice di presidio M fornisce una quantificazione indipendente dalla grandezza del sistema produttivo: è valido per una stazione o per tante stazioni.

Inoltre, si osserva che M è inversamente proporzionale al livello di automazione, per cui, quando M assume valori bassi il sistema è più automatizzato, mentre quando M assume valori alti il sistema è meno automatizzato.

In generale:

- $M \rightarrow 1$: sistema più manuale;
- $0 < M < 1$: sistema ibrido;
- $M \rightarrow 0$: sistema più automatizzato. [2]

1.2.2 Flessibilità e tipologie di linee

La *flessibilità* rappresenta la capacità di un sistema di produzione di gestire i cambiamenti dei particolari o dei prodotti che è in grado di produrre.

Tipicamente, si possono avere tre situazioni:

- Flessibilità nulla: impossibilità di gestire alcuna variante → un solo prodotto;
- Flessibilità intermedia: possibilità di gestire diverse tipologie di prodotti → lotti;
- Flessibilità massima: possibilità di gestire le parti diverse in modo del tutto casuale → mix.

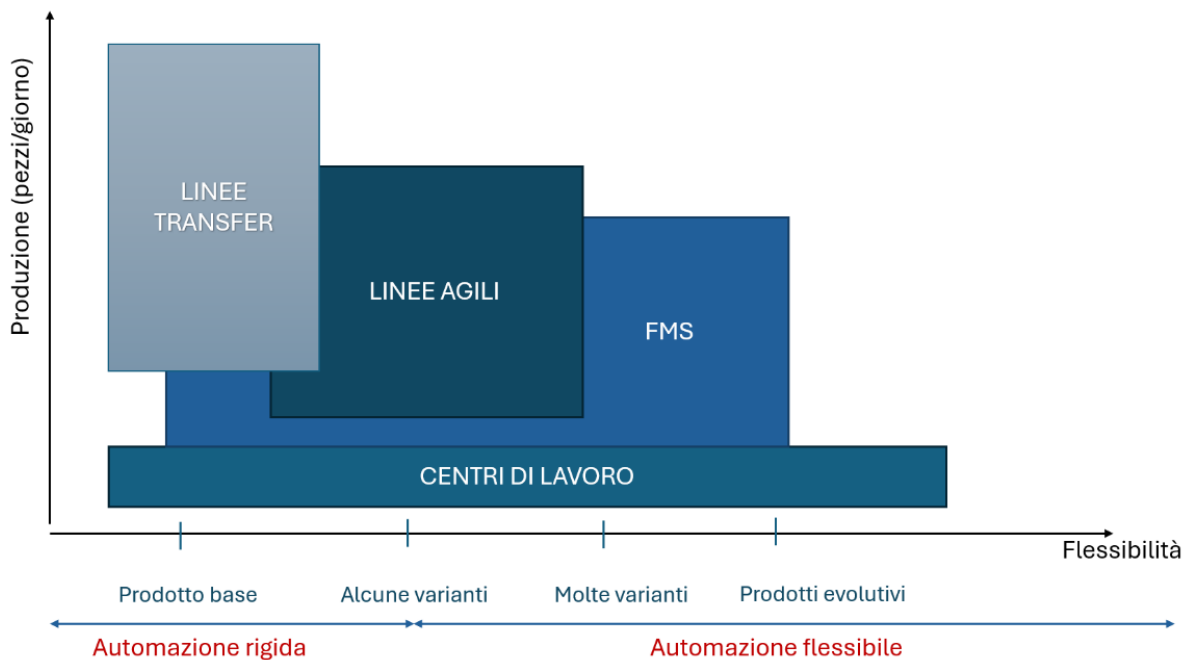


Figura 2: Tipologia di linee di produzione

Dal diagramma (*Figura 2*) si evidenzia che la flessibilità può essere vista anche come la facoltà dell'impianto di essere utilizzato per ottenere prodotti finiti differenti tra loro senza dover sostenere costi di trasformazione, incompatibili con la situazione economica e concorrenziale dell'impresa.

Quanto più tempo il sistema impiega a gestire i cambiamenti, tanto più è rigido; al contrario, quanto meno tempo impiega a fronteggiare i cambiamenti, tanto più è flessibile.

In generale, un'automazione rigida è caratterizzata da processi continui, prodotti ripetitivi ed altissimi volumi standardizzati. Mentre, un'automazione flessibile è caratterizzata da processi intermittenti a grandi lotti ed a piccoli lotti, job shop (processo produttivo su commessa), processi continui flessibili e bassi volumi di pochi prodotti-base con molte varianti personalizzate. [2]

Allora, sinteticamente si può affermare che le attività produttive possono essere classificate in quattro categorie principali:

1. **Processi continui:** relativi alla produzione di mezzi continui (liquidi, gas, sfusi), tipici degli impianti chimici;
2. **Produzioni di massa di elementi discreti:** relativa alla fabbricazione in serie di prodotti discreti con elevate produzioni e limitate varianti (minuteria metallica). L'automazione impiegata è di tipo rigido perché non prevede la possibilità di gestire cambi di produzione;
3. **Produzioni a lotti:** relativa alla realizzazione di piccoli lotti a intervalli periodici;
4. **Produzioni su commessa:** relativa alla realizzazione di prodotti singoli molti complessi o di grandi dimensioni. Un tipico esempio sono i satelliti ed i ponti.

Sia le produzioni a lotti che quelle su commessa sono flessibili perché consentono di produrre diverse varianti. Tra i vari processi produttivi ci possono essere zone di sovrapposizione ad eccezione di quelli continui. [1]

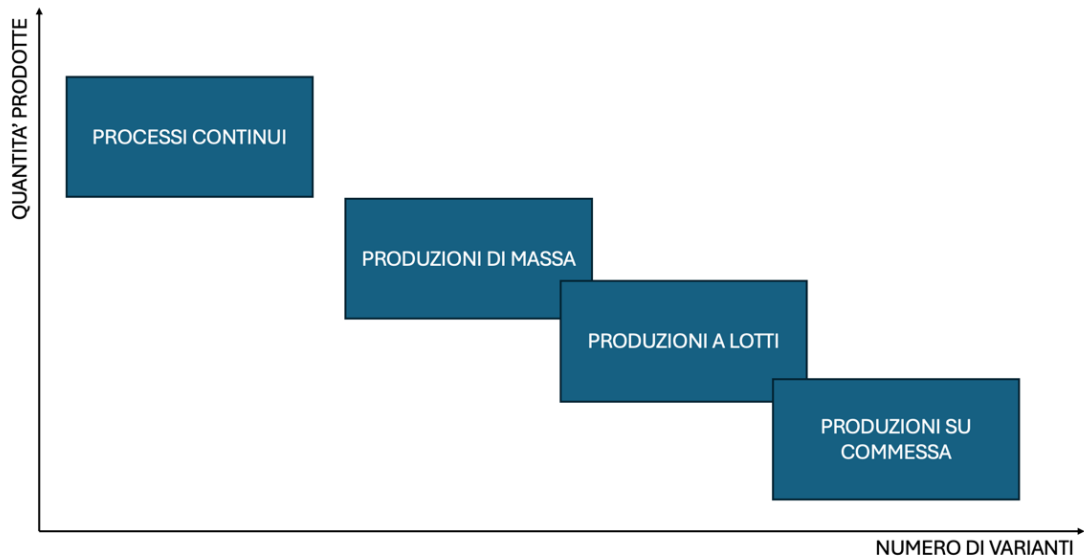


Figura 3: Classificazione della produzione

1.2.2.1 Linee transfer

Le *linee transfer* (linee a trasferimento) sono dei sistemi di produzione usati per produrre elevati volumi di parti che richiedono nella loro trasformazione un insieme di operazioni differenti. Una linea di trasferimento trova la sua applicazione a fronte di:

- Volumi di produzioni elevati;
- Stabilità di progetto del prodotto;
- Lunga vita utile del prodotto;
- Costanza nel tempo del volume produttivo.

Inoltre, garantisce:

- Basso costo di manodopera diretta;
- Basso costo del prodotto;
- Elevati volumi di produzione;
- Tempo di attraversamento e work in progress minimi;
- Occupazione dello spazio ottimale.

Esistono due diversi tipi di linea transfer:

1. Transfer lineari:

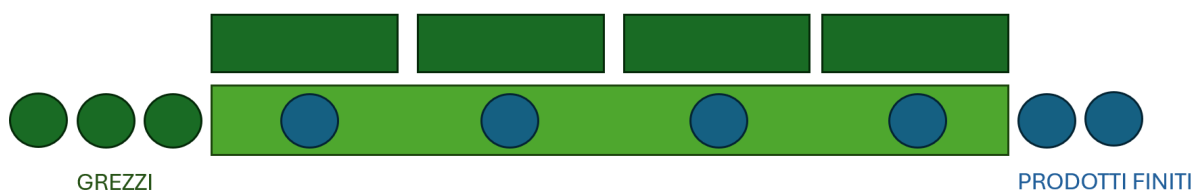


Figura 4: Schema di funzionamento di una linea transfer lineare

2. Transfer rotanti:

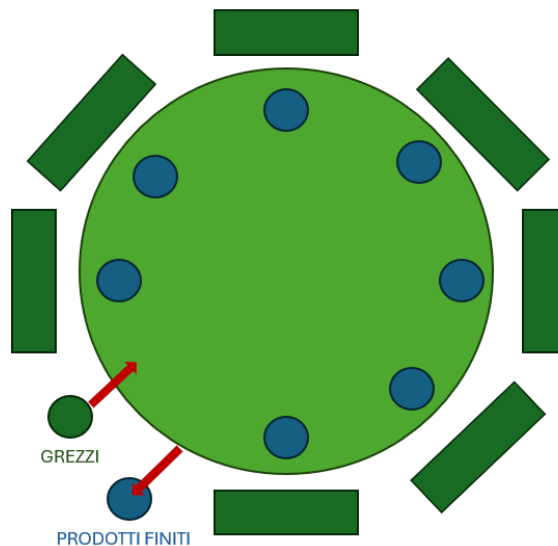


Figura 5: Schema di funzionamento di una linea transfer rotante

Il transfer rotante è più adatto per lavorazioni di precisione, ma presenta un numero di stazioni ridotto, difficoltà ad inserire buffer e bassa espandibilità.

Per quanto riguarda la struttura di una linea transfer, essa viene oggi concepita assemblando attorno ad una struttura base in acciaio saldato, una serie di componenti modulari.

I componenti principali di una linea transfer sono quindi: le slitte di movimentazione, le unità di lavoro, gli attrezzi di bloccaggio e riferimento, i meccanismi di trasferimento.

Le slitte di movimentazione possono essere slitta a comando meccanico o slitta a comando idraulico e possono esserci gruppi di movimento ad un asse, a due assi o a tre assi. Le unità di lavoro sono: testa multipla di foratura, testa di fresatura, testa multipla di fresatura.

La lavorazione di un particolare su una transfer necessita di una fase detta di “traslazione”, in cui un particolare viene traslato da una stazione alla successiva. La traslazione avviene in tre fasi: pressa, spostamento, rilascio. [2]

1.2.2.1.1 Efficienza

L'effettivo tempo di produzione si calcola come:

$$t_p = t_c + N_f \cdot T_f$$

dove:

- t_p : tempo di produzione;
- t_c : tempo ciclo;
- N_f : numero di fermate per ciclo;
- T_f : durata media di una fermata (MTTR)

Si calcolano dunque:

$$R_c = \frac{3600}{t_c}$$

dove R_c rappresenta il tasso di produzione ideale orario e

$$R_p = \frac{3600}{t_p}$$

dove R_p è invece il tasso di produzione effettivo orario.

L'efficienza si calcola come:

$$E = \frac{t_c}{t_p} = \frac{t_c}{t_c + N_f \cdot T_f}$$

Inoltre, si definiscono **MTTR** (“Mean Time To Repair”) e **MTBF** (“Mean Time Between Failures”) che sono le due grandezze che caratterizzano il funzionamento di una macchina automatica e rappresentano rispettivamente il tempo medio in cui viene riparato un guasto, ed il tempo medio che intercorre fra due guasti: [2]

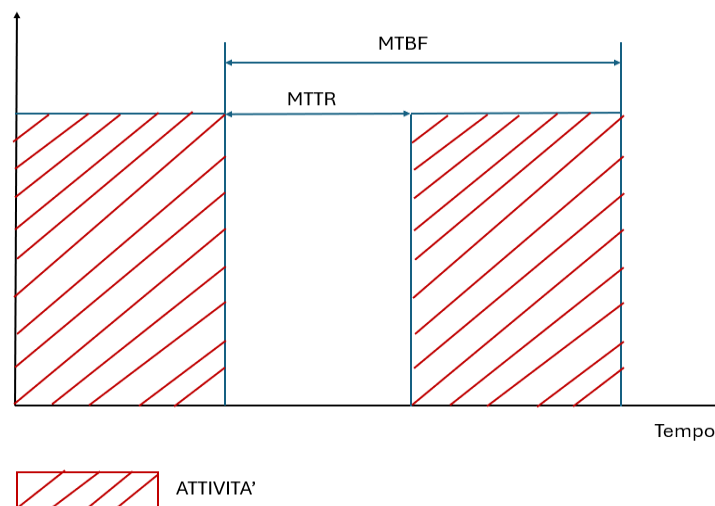


Figura 6: MTTR e MTBF in funzione del tempo

1.2.2.1.2 Buffer inter-operazionali

Gli scopi del *buffer inter-operazionale* sono:

- Ridurre il danno provocato da eventuali rotture di una stazione di lavoro;
- Creare una riserva di pezzi in grado di alimentare i reparti di produzione a valle;
- Assorbire le variazioni del tempo ciclo laddove lungo la linea siano inserite operazioni manuali.

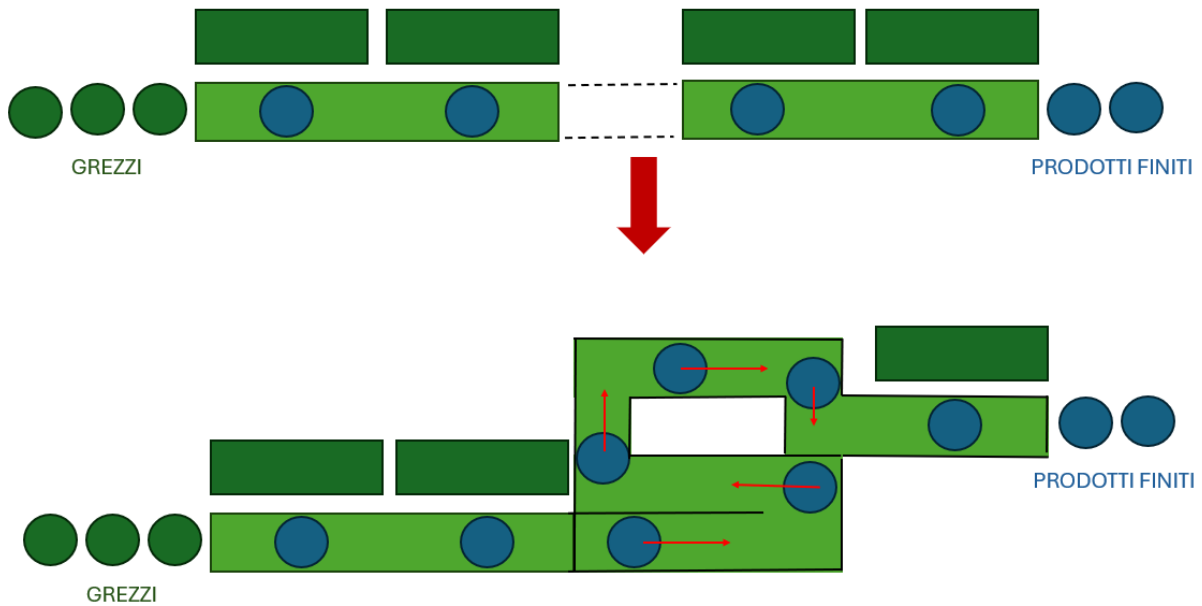


Figura 7: Schema dell'introduzione di un buffer in una linea produttiva

In assenza di un buffer, ciascun segmento si dovrà arrestare in presenza di una fermata dell'altro, infatti:

1. Se si ferma il primo segmento, il secondo non verrà alimentato;
2. Se si ferma il secondo segmento, il primo non potrà scaricare il pezzo lavorato.

L'efficienza della linea (in caso di $\text{buffer}=0$) sarà quindi pari a:

$$E_0 = \frac{t_c}{t_c + (N_{f1} + N_{f2}) \cdot T_f}$$

Se tra le due linee ci fosse invece un buffer di capacità infinita, l'efficienza della linea coinciderebbe con la minore tra le efficienze dei due segmenti da cui è composta. Se il buffer è di dimensioni finite, si otterrà un valore di efficienza compreso fra i due:

$$E_\infty = \frac{t_c}{t_c + N_{f1} \cdot T_f}$$

con $N_{f1} > N_{f2}$ e $E_0 \leq E_x \leq E_\infty$.

Se la differenza tra E_0 ed E_∞ è trascurabile, allora nessun vantaggio verrà dall'impiego di un buffer. Se invece E_∞ è considerevolmente maggiore di E_0 , allora si potrà trarre un significativo vantaggio dall'impiego del buffer. Una linea di una certa estensione converrà sempre dividerla in segmenti aventi la medesima efficienza (in quanto è la condizione in cui si avrà la massima differenza tra E_0 ed E_∞) separati da magazzini inter-operazionali. Se il buffer di una linea risultasse quasi sempre pieno o quasi sempre vuoto, questo indicherebbe che uno dei due tratti posti ai suoi estremi è sbilanciato e pertanto il magazzino

non sarà molto utile. La massima efficienza di una linea si raggiungerebbe avendo un numero di buffer uguale al numero di stazioni. [2]

1.2.2.2 Centro di lavoro

Un *centro di lavoro* rappresenta un insieme di macchine a controllo numerico in grado di controllare i movimenti inserendo nel sistema istruzioni codificate in forma alfanumerica. Il PC di controllo è parte integrante della macchina utensile ed il programma può essere preparato altrove. L'operatore può agire sul PC di controllo manualmente per operare modifiche, creare nuovi programmi e salvare dati. In particolare, la crescita delle prestazioni dei PC ha favorito l'utilizzo del CNC.

In sintesi, un centro di lavoro è caratterizzato da un insieme di macchine a controllo numerico fra loro comunicanti. [2]

1.2.2.3 Flexible Manufacturing Systems (FMS)

Un sistema flessibile di lavorazione o *FMS* è un sistema di lavorazione altamente automatizzato che consiste di macchine CNC (*Paragrafo 1.2.2.2*) interconnesse da un sistema automatico di movimentazione dei pezzi controllato da un sistema distribuito di microprocessori. La distinzione dalle linee transfer consiste nel fatto che è possibile lavorare contemporaneamente sulle varie stazioni di lavoro pezzi differenti ed il mix di parti e la loro quantità può essere modificata al variare della domanda.

Un FMS può essere pensato come un sistema di informazione gestionale distribuito che collega tra loro sottosistemi intelligenti, detti nodi, costituiti da macchine di lavorazione, di collaudo, di lavaggio, di montaggio e da sistemi di trasporto ed immagazzinamento:

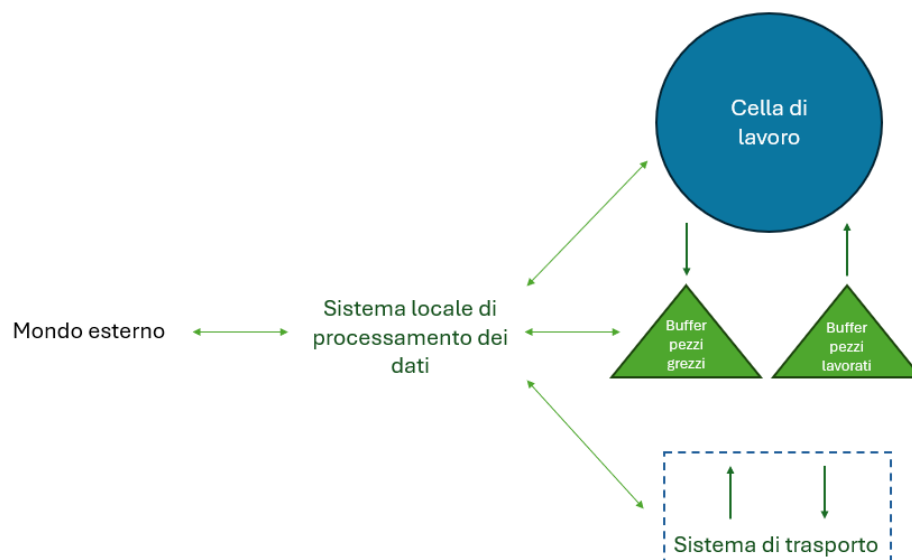


Figura 8: Schema di un FMS

Per poter classificare un sistema di lavorazione come FMS, questo dovrà rispondere ad almeno quattro requisiti:

1. Capacità di gestire particolari diversi lavorati in modalità mix (non a lotti);
2. Capacità di accettare facilmente cambi nella schedulazione della sua produzione e modifiche tanto nella composizione del mix quanto nel volume di produzione;
3. Capacità di gestire malfunzionamenti di un componente senza interrompere completamente la produzione;
4. Capacità di accettare facilmente l'inserimento di un nuovo prodotto nel mix di produzione.

Esistono diversi tipi di flessibilità:

- **Di lavorazioni:** definisce l'insieme delle lavorazioni che il sistema è in grado di compiere;
- **Di produzione:** definisce l'insieme di particolari che il sistema può lavorare;
- **Di mix:** definisce la capacità di produrre un dato particolare in proporzioni differenti;
- **Di prodotto:** definisce la capacità del sistema di accettare una variante;
- **Di percorso:** definisce la capacità del sistema di generare un ciclo con percorsi differenti. [2]

1.2.2.4 Sistemi agili

Tra le due soluzioni, la trasferta rigida e l'FMS, si è affermata una terza soluzione con caratteristiche intermedie: il *sistema agile*. Esso della trasferta rigida mantiene l'architettura generale e cioè il percorso sequenziale del pezzo lavorato, mentre dell'FMS adotta la tipologia delle unità di lavoro. L'ideazione di sistema agile è costruito attorno al concetto che un certo numero di aziende, ciascuna delle quali possiede determinate capacità e competenze, si associa per raggiungere un determinato obiettivo produttivo. Tale associazione può formarsi e cambiare con grande facilità al mutare dell'obiettivo da raggiungere e quindi adattarsi con grande facilità alle mutate esigenze del mercato.

Confrontando la produzione di serie con la produzione agile, si vede che la prima consente di ottenere prodotti standard, mentre nel secondo caso si hanno prodotti customizzati. Inoltre, la vita dei prodotti ottenuti tramite produzione di serie è lunga, mentre i prodotti ottenuti tramite produzione agile sono a vita breve. La produzione di serie è a previsione, mentre quella agile è su ordine. In ultimo, variano anche il numero di prodotti distinti e la quantità di pezzi prodotti: nel caso di produzione in serie si ha un numero di prodotti basso e quantità di pezzi alta, viceversa nel caso di produzione agile. [2]

2. World Class Manufacturing

Il “*World Class Manufacturing*”, indicato anche con l’acronimo di **WCM**, è un metodo che apre le porte ad un nuovo modo di pensare all’industria. Esso nasce negli Stati Uniti negli anni ’90 e viene acquisito in Italia nel 2005 nel progetto FIAT. Fondamentalmente esso rappresenta un miglioramento continuo, frutto di tre diversi approcci:

- **Lean Production:** minimizzazione degli sprechi con l’obiettivo di renderli nulli;
- **Total Productive Maintenance:** abolizione delle perdite sugli impianti;
- **Total Quality Management:** produzione ottimale già dal principio.

2.1 Lean Production

La *Lean Production* (letteralmente “produzione snella”) affonda le proprie radici nel Toyota Production System ed ha come obiettivo principale quello di minimizzare il più possibile gli sprechi, fino a renderli idealmente nulli. In quest’ottica, si definisce “spreco” tutto ciò che non viene utilizzato per la creazione del valore per il cliente (valore aggiunto). Allora, la *Lean Production* rappresenta il metodo di razionalizzazione dei processi attraverso l’eliminazione degli sprechi e si occupa quindi di creare valore per il prodotto, cercando di utilizzare il minor numero di risorse possibile.

Le fonti di spreco possono essere raggruppate in:

- **Sovraproduzione:** produzione maggiore rispetto a quanto effettivamente richiesto dal processo produttivo o dal cliente;
- **Scorte:** acquisto di materiale in eccesso rispetto al fabbisogno del processo. Si possono avere scorte di materie prime, di materiale in lavorazione o di prodotti finiti; esse rappresentano uno spreco in quanto costituiscono capitale immobilizzato che non ha ancora prodotto un guadagno. Le scorte sono direttamente collegate alla sovrapproduzione;
- **Eccesso di attività:** insieme di attività che non costituiscono valore aggiunto al prodotto realizzato. Possono essere sia funzioni aggiuntive per la realizzazione di particolari non richiesti dal cliente, sia ad esempio la qualifica degli operatori superiore rispetto a quella necessaria per la realizzazione delle attività richieste;
- **Difetti:** scarti o elementi non conformi (errori di fabbricazione) nel caso di produzione di beni, oppure mancanze (assenza di garanzia o di assistenza clienti) nel caso di servizio offerto;
- **Movimentazione:** spostamenti degli operatori per raggiungere materiali o attrezzature lontani dal punto di utilizzo;
- **Trasporti:** spostamenti del materiale o dei pezzi da un reparto all’altro che rappresentano uno spreco in quanto non avviene la trasformazione del prodotto;
- **Attese:** materie prime e semilavorati in attesa per la lavorazione successiva oppure lavoratori in attesa che la risorsa sia disponibile. Le attese costituiscono una perdita di tempo che potrebbe essere impiegato in modo differente per creare valore aggiunto.

La *Lean Production* si basa dunque su cinque principi fondamentali che sono:

1. Definizione del valore;
2. Eliminazione degli sprechi;
3. Creazione del flusso;

4. Far tirare il valore dal cliente (logica Pull e produzione su richiesta di cui si parlerà in seguito);
5. Miglioramento continuo perseguendo la perfezione (metodo Kaizen).

Analizzando ciascuna fonte di spreco e coerentemente con i cinque principi, secondo la metodologia della Lean Production, si prevedono le seguenti attività:

- Eliminazione delle attività che non generano valore aggiunto;
- Analisi del recupero di efficienza;
- Realizzazione della mappa del valore;
- Formazione di operatori e management;
- Gestione del cambiamento;
- Valutazione dello stato di implementazione delle tecniche della metodologia Lean;

La Lean Production non va intesa però come un approccio rigido ed univoco, ma come un insieme organico di tecniche che vanno modulate e adattate alla specifica realtà produttiva. Si evince che l'applicazione di queste metodologie apporta diversi benefici, ad esempio: aumento della capacità produttiva, riduzione dei tempi del ciclo produttivo, riduzione di scorte e magazzino, riduzione dei costi di produzione. [3]

2.1.1 Just In Time

Intimamente legato alla Lean Production è poi il concetto di *Just In Time* (letteralmente “appena in tempo”). Tale metodologia prevede di produrre le quantità minime necessarie per soddisfare la domanda del cliente, riducendo al minimo le scorte. Il principio guida del JIT è rappresentato dalla realizzazione del prodotto giusto, nella quantità richiesta, nel momento in cui esso è richiesto e nelle condizioni pattuite dal cliente. Per perseguire tali obiettivi si fa riferimento a due aspetti fondamentali:

1. La produzione di un qualunque centro di lavoro o processo è attivata dalla domanda che si manifesta a valle (sistema Pull, *Paragrafo 2.1.2*);
2. Il processo di produzione deve essere attraversato dalle unità in fase di realizzazione senza soluzioni di continuità (flusso continuo e bilanciato).

Il JIT imponendo una riduzione del Lead Time (periodo di tempo compreso tra l'inizio della prima attività e la fine dell'ultima attività di un ciclo di produzione e pari alla somma dei tempi necessari per compiere tutte le attività sequenziali incluse quelle operative, i set-up, i controlli, le attese ed i trasporti), richiede un modo per generare un segnale di richiesta di materiale che costituisce altresì l'autorizzazione a produrre. Come già evidenziato, si passa quindi dalla logica Push alla logica Pull. [2]

2.1.2 Push e Pull:

La logica di tipo *Push* consiste nel produrre una certa quantità di prodotto stabilita in precedenza, sulla base di dati raccolti sul mercato e/o su previsioni sul possibile andamento della domanda. I fabbisogni di acquisto ed i programmi di produzione vengono definiti in base alle previsioni di vendita: le materie prime ed i semilavorati fluiscono nel ciclo produttivo sulla base della previsione del fabbisogno delle fasi a valle. Allora, la sequenza della attività produttive avviene a priori dell'insorgere del fabbisogno. In definitiva, lo svolgimento a valle viene spinto dalle attività a monte. Una logica di produzione siffatta

implica chiaramente una creazione di scorte; inoltre il rischio più importante è rappresentato dal mercato: la domanda effettiva potrebbe essere diversa rispetto alla domanda prevista.

La logica di tipo *Pull* consiste nel produrre una certa quantità di prodotto in base al fabbisogno del mercato. Gli ordini effettivi “tirano” l’acquisto di tutti i materiali necessari per la fabbricazione del prodotto e la produzione; le materie prime ed i semilavorati fluiscono nel ciclo produttivo sulla base della domanda effettiva proveniente dalle fasi a valle. La sequenza della attività produttive avviene a posteriori dell’insorgere del fabbisogno. La diretta conseguenza di questa logica di produzione è la riduzione del livello di scorte e dunque l’aumento del livello di flessibilità del sistema produttivo. In sintesi, lo svolgimento a valle trascina le attività a monte. [2]

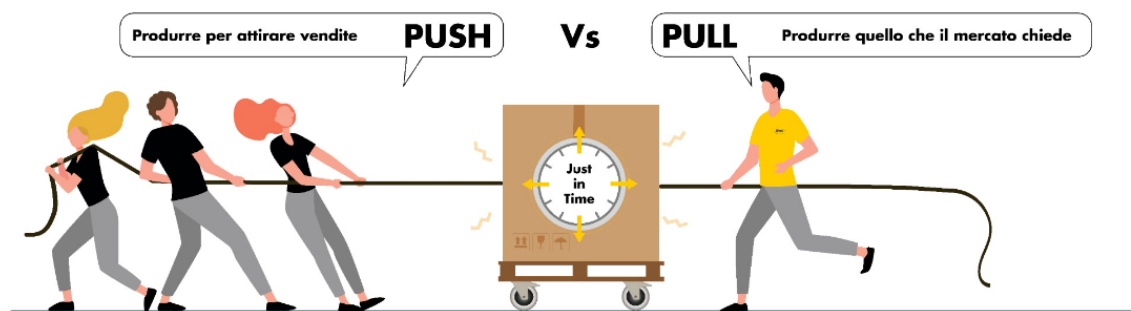


Figura 9: Schema delle logiche di produzione - Push, Pull e JIT

2.2 Total Productive Maintenance

La *Total Productive Maintenance* (letteralmente “manutenzione totale produttiva”), come la Lean Production ha come obiettivo finale l’abbattimento delle perdite, mirato però più specificatamente agli sprechi sugli impianti. È importante osservare fin da subito che non si tratta di una mera procedura di manutenzione. Lo scopo principale del sistema è quello di aumentare le performance e migliorare la qualità degli impianti attraverso il miglioramento degli strumenti di lavoro. Si avvia una manutenzione preventiva impostata sulla base di differenti criteri: importanza del macchinario all’interno del sistema, indicazioni del costruttore, attenzione alle attività di operatori, manutentori e tecnici del processo. I cinque pilastri fondamentali su cui si basa tale sistema sono:

1. **Pulizia:** si esegue una pulizia giornaliera, affidata agli operatori che asserviscono il macchinario e che non richiede alcun addestramento particolare. Tramite la pulizia dello strumento si agevola il corretto utilizzo dello stesso, garantendo le condizioni di base della macchina. Ciò consente anche di creare un ambiente più agevole per l’operatore. Effettuare una pulizia significa anche avere la possibilità di effettuare un’ispezione che consente di individuare eventuali problemi da evitare (ad esempio ci si può accorgere di una disfunzione di un sensore ottico che abbia un ostacolo davanti o della presenza di una pozza d’acqua che può determinare una caduta per l’operatore).
2. **Individuazione del problema:** è richiesta la formazione dell’operatore, utile a comprendere preventivamente problemi che possono insorgere sul macchinario in azione;
3. **Correzione:** si rimedia alle problematiche che vengono identificate;

4. **Perfezionamento:** si evita che il problema individuato si ripresenti in futuro. In questo step vengono messi a punto degli standard manutentivi sulla base dei problemi affrontati, da evitare in futuro;
5. **Protezione:** per prevenire le anomalie riscontrate, strumenti e macchinari vengono protetti prima, durante e dopo l'utilizzo.

La manutenzione passa dall'essere effettuata solo in caso di guasto, all'essere preventiva. Essa infatti si verifica su cadenza periodica che può essere mensile, settimanale o giornaliera. In questo modo il tempo di arresto incontrollato (dovuto a interventi di emergenza o manutenzione non programmata) viene ridotto al minimo e, a differenza della manutenzione guasti, può essere fatta in modo da non coincidere con i cicli di produzione ma con i tempi di inattività pianificati. [3]

2.3 Total Quality Management

Il *Total Quality Management* (letteralmente “qualità totale”) è un modello organizzativo che focalizza la sua attenzione nel produrre bene sin da subito. Esso rappresenta un approccio manageriale centrato sulla qualità e basato sulla partecipazione di tutti i membri di un'organizzazione allo scopo di ottenere un successo sul lungo termine. È possibile mettere in evidenza due aspetti fondamentali: il coinvolgimento del personale ed il livello di morale della forza lavoro. Le risorse umane rappresentano parte integrante dell'attività produttiva, le quali devono sentirsi motivate e devono contribuire alla risoluzione di eventuali problematiche che possono insorgere.

Questo approccio prende spunto dal concetto di Kaizen che rappresenta in buona sostanza un miglioramento continuo, cioè la voglia di voler fare sempre meglio. Ci si concentra, infatti, sul come le fasi di un processo debbano funzionare nella maniera esatta (come ci si aspetterebbe) e si ottimizzano gli effetti intangibili dei processi. Particolarmente importante appaiono l'analisi e lo studio delle modalità secondo le quali il consumatore finale utilizza il prodotto. Non da meno rientra in questo contesto anche l'estetica del prodotto che deve renderlo piacevole ed accattivante.

Le caratteristiche del Total Quality Management in sintesi sono:

- **Forte leadership;**
- **Impegno a lungo termine** in modo da ottenere un miglioramento costante dei processi;
- **Responsabilità** di stabilire e migliorare il sistema;
- **Orientamento al cliente:** rappresenta la persona da soddisfare e dunque il motivo per cui si adotta l'applicazione del metodo. [3]

2.3.1 Ciclo di Deming:

Il processo di miglioramento continuo richiesto dal Total Quality Management può essere rappresentato attraverso il cosiddetto *ciclo di Deming* che è uno degli approcci per il miglioramento continuo aziendale. Esso è adattabile ad ogni fase dei processi aziendali produttivi. Tale metodo, conosciuto forse più largamente come ciclo PDCA, è indicato da un acronimo in cui le lettere hanno il seguente significato:

1. **Plan:** pianificazione;
2. **Do:** applicazione in via sperimentale di quanto pianificato;

3. **Check:** controllo e monitoraggio di risultati, dati ed evidenze e verifica della compatibilità con quanto pianificato;
4. **Act:** implementazione dei miglioramenti risultanti dalle evidenze raccolte nelle verifiche.

Questo metodo può essere utilizzato diverse volte (nell'ottica del miglioramento continuo del Kaizen) permettendo il raggiungimento ideale della qualità totale.

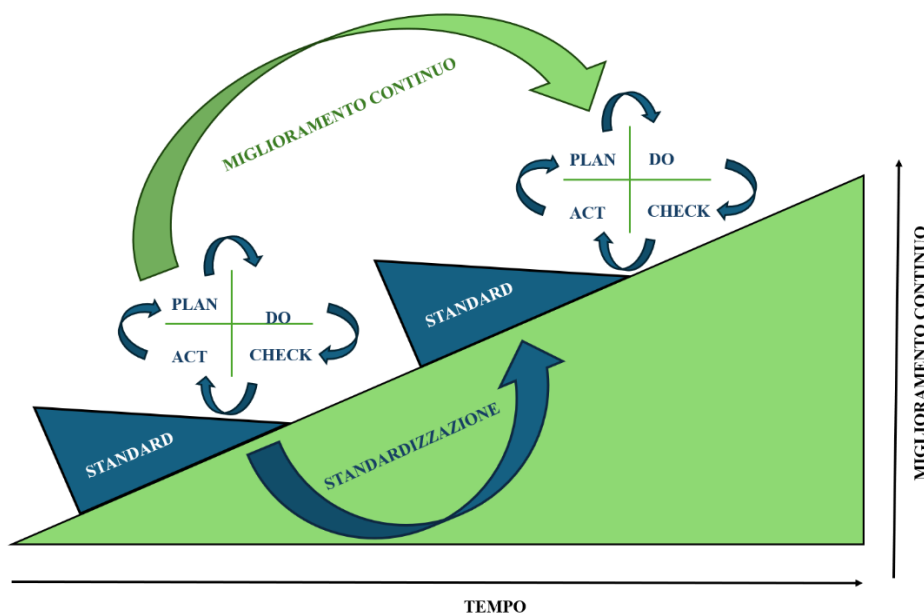


Figura 10: Schema di funzionamento del ciclo PDCA

Si analizzano in dettaglio le varie fasi del processo di miglioramento aziendale:

- **Fase Plan:** consiste nella definizione da parte dell'azienda di ciò che deve essere fatto inizialmente, partendo dalla definizione del contesto. Lo scopo è quello di risolvere una eventuale criticità oppure di migliorare un processo; viene quindi fatta la pianificazione delle azioni da svolgere.

Nel dettaglio le attività previste in questa fase possono essere:

- Definizione del contesto delle parti interessate e delle loro aspettative;
- Definizione degli obiettivi iniziali o del miglioramento da attuare ed i loro indicatori;
- Analisi dei rischi per definire i fattori impattanti;
- Analisi delle opportunità che possono essere colte;
- Raccolta dei dati e delle evidenze relative al processo;
- Mappatura del processo utilizzando un diagramma di flusso;
- Determinazione degli interventi necessari per prevenire pericoli e/o mitigare i rischi;
- Definizione dei risultati attesi ed i loro target;
- Definizione delle risorse economiche da parte dell'organizzazione;
- Definizione delle responsabilità per la fase di attuazione;
- Pianificazione delle azioni da svolgere;
- Pianificazione delle risorse tecniche ed umane;

- Determinazione degli indicatori per misurare i miglioramenti o gli scostamenti da quanto pianificato.
- **Fase Do:** si mettono in atto le azioni ed i programmi precedentemente definiti e pianificati. Ogni soluzione è implementata per un periodo di prova; in seguito, viene verificata l'adeguatezza delle soluzioni adottate rispetto agli obiettivi attesi. Nel caso in cui i risultati risultino adeguati, vengono approvati i processi. Di conseguenza, i dipendenti vengono formati sulle nuove modalità operative a fronte delle soluzioni adottate.
- **Fase Check:** le soluzioni progettate, dopo la loro prima applicazione, vengono sottoposte ad un monitoraggio nel tempo in modo da verificarne la sostenibilità ed eventualmente approfondire le cause del non corretto funzionamento. In questa fase occorre riprendere le attività di analisi delle cause dei problemi per individuare le azioni utili per superare le difficoltà o le anomalie che ancora persistono.
- **Fase Act:** quando le azioni adottate risultano efficaci e ci sono dati ed evidenze delle performance, si procede con le seguenti attività:
 - Individuazione delle eventuali esigenze di formazione del personale per rendere operative le soluzioni adottate nei processi;
 - Individuazione delle eventuali esigenze strutturali, ambientali da attuare ai fini del miglioramento aziendale;
 - Continuo monitoraggio della situazione ripetendo il ciclo più volte fino a raggiungere i miglioramenti desiderati;
 - Individuazione delle altre opportunità di miglioramento fissando nuovi obiettivi durante un riesame. [4]

2.4 Il metodo del World Class Manufacturing



Figura 11: Logo del World Class Manufacturing

Come anticipato, il *World Class Manufacturing* rappresenta una metodologia organizzativa dei processi che costituisce una sorta di manuale/programma di miglioramento che riunisce tutti gli aspetti finora discussi. Esso integra quindi diverse metodologie (dalla Lean Production, al Just In Time, al Total Industrial Engineering...) e coinvolge tutte le risorse

presenti all'interno dell'organizzazione: dalla fabbrica, alla logistica, agli acquisti, alla pianificazione.

L'obiettivo è il raggiungimento del paradigma dello zero ideale: zero guasti, zero fermate, zero incidenti, zero sprechi, zero stock, zero insoddisfazione del cliente, zero attività a non valore aggiunto. Il tutto è finalizzato ad una generale riduzione dei costi dello stabilimento. I punti di forza del **WCM** sono molteplici. Innanzitutto, come evidenziato già nella trattazione del Total Quality Management (*Paragrafo 2.3*), si pone particolare attenzione al coinvolgimento delle persone: ciascun membro di ogni squadra è parte integrante delle attività ed è al centro delle problematiche che devono essere risolte. Tutti devono sentirsi all'altezza dei compiti da svolgere e dare supporto attivo, collaborando con i colleghi. Ciò consente di incrementare l'aspetto motivazionale della sfera personale di ognuno di essi. Accanto a questo, si evidenzia anche una crescita delle competenze: ogni membro del gruppo ha la possibilità di arricchire il proprio bagaglio culturale e tecnico venendo a contatto con diverse problematiche, sviluppando le proprie skills ed assorbendo le tecniche del problem-solving. Non da meno si pone attenzione all'aspetto economico: la prioritizzazione rappresenta la facoltà di dare priorità a quei progetti che rappresentano un ritorno economico rapido e sicuro.

2.4.1 Struttura del WCM

La struttura del modello WCM è organizzata su dieci pilastri tecnici affiancati da dieci pilastri manageriali e ciascuno di essi è focalizzato su determinate tematiche. La struttura viene rappresentata come un tempio in cui le colonne (pilastri tecnici), poggiano sulla base (pilastri manageriali).

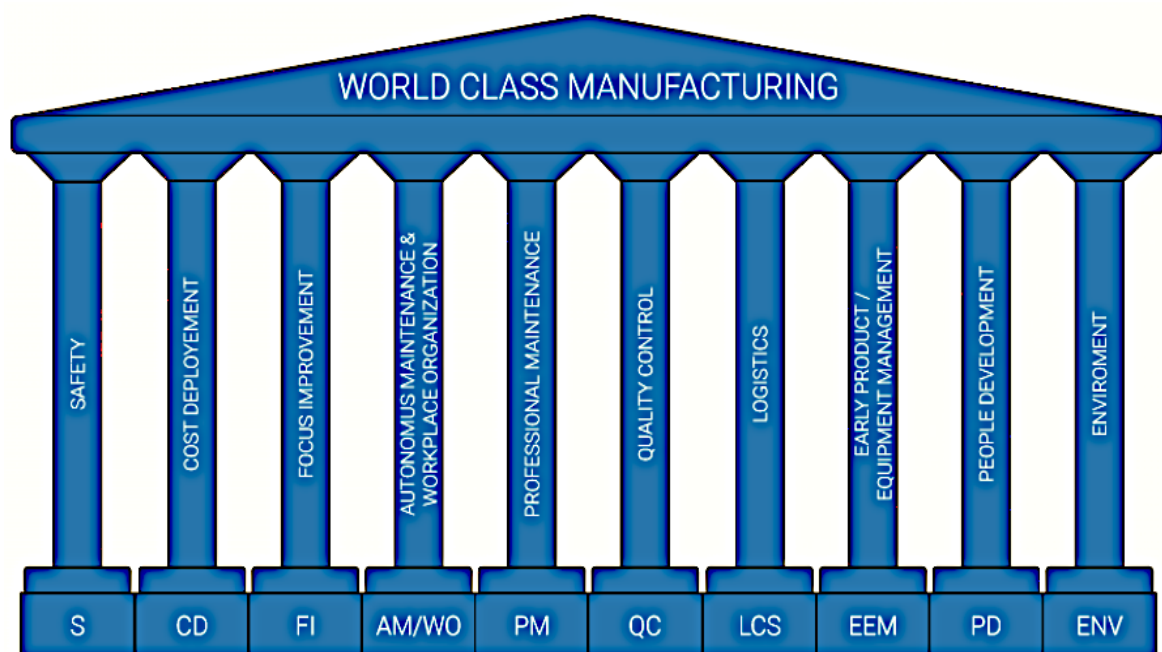


Figura 12: Pilastri del WCM

L'attività di ciascun pilastro è organizzata in tre macro-fasi che devono essere portate avanti in modo consecutivo: reattiva, preventiva e proattiva, abbracciando la logica dei sette step che conducono al processo di miglioramento continuo. [3;5]

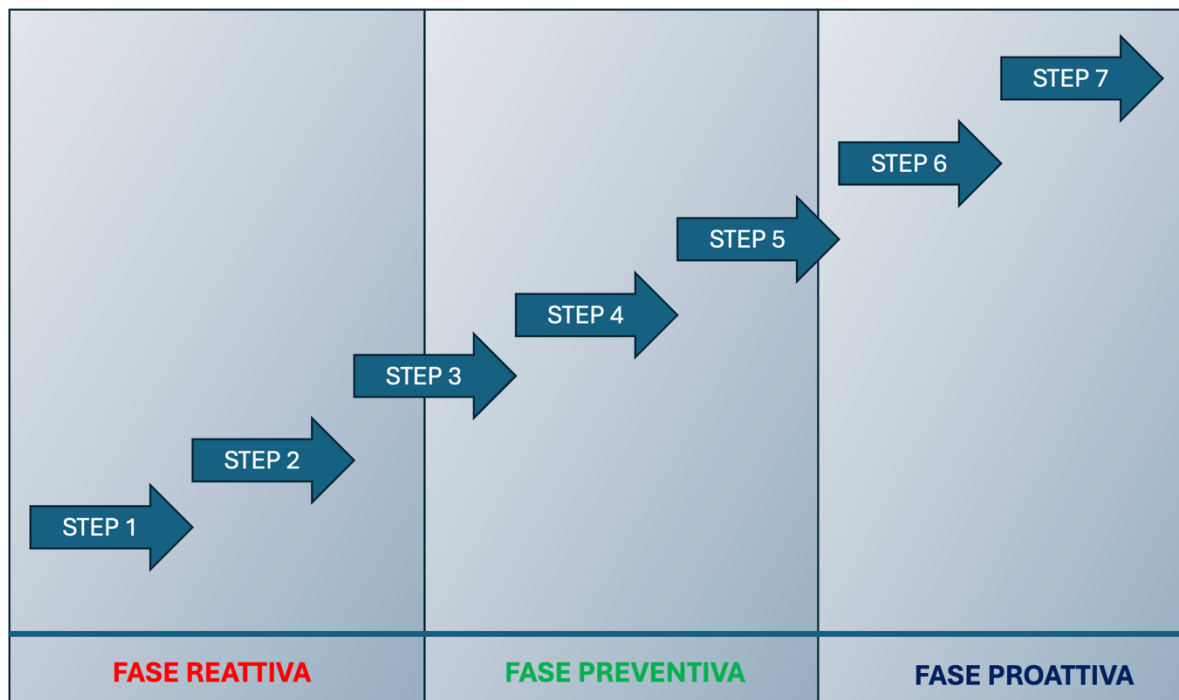


Figura 13: Logica dei sette step

In dettaglio:

1. **Fase reattiva:** capacità di reagire ad un evento, ma non di prevederlo in modo anticipato. In questo caso non si può tentare di tenere sotto controllo la causa dell'evento, ma si agisce soltanto a posteriori, quando l'evento è già accaduto.
2. **Fase preventiva:** possibilità di prendere atto di eventuali problematiche tramite la comprensione ed eliminazione delle cause di una perdita cronica. Il risultato è un apporto di miglioramenti ed una riduzione di sprechi.
3. **Fase proattiva:** riorganizzazione dal punto di vista tecnologico, delle metodologie e delle competenze in modo che il sistema sia in grado di comprendere in modo anticipato l'insorgere di eventuali problematiche.

I diversi livelli di prestazione raggiunti dall'impresa durante l'applicazione del modello, sono documentati attraverso sistemi di valutazione esterni ed interni in modo da verificare il grado di implementazione (tendente allo standard world class). La "classifica" partendo dalla bronze medal, passa alla silver medal, alla gold medal ed infine al world class, in ordine crescente di punteggio raggiunto.

A seguire vengono descritti in dettaglio soltanto i pilastri tecnici. [3]

2.4.1.1 Safety/Higiene e working environment

Il pilastro della *sicurezza* ha come obiettivo quello di soddisfare le esigenze del personale, garantendo ai lavoratori un alto livello di protezione in un ambiente sicuro abolendo i fattori che potrebbero generare infortuni ed incidenti. Adottando un approccio di tipo sistemico, si parte dall'analisi delle cause di infortunio (rese note per mezzo di segnalazioni). Grazie a queste si adottano delle contromisure e degli standard generali per la sicurezza, fino ad una piena implementazione del sistema. Lo strumento principale del pilastro, utilizzato per classificare e monitorare gli infortuni è la piramide di H.W. Heinrich che suddivide gli eventi in base alla gravità dall'evento meno grave (base della piramide) a quello più catastrofico (punta della piramide). [3;6]



Figura 14: Piramide di H.W. Heinrich

2.4.1.2 Cost deployment

Il *cost deployment* rappresenta un metodo che consente di innovare i sistemi di amministrazione e di controllo dei vari stabilimenti, creando un collegamento tra l'individuazione delle aree da migliorare ed i risultati di miglioramento delle performance. Sulla base della convenienza economica, si analizzano i costi e le perdite dell'impresa. Il tutto viene fatto tramite la costruzione di differenti matrici per ogni step del pillar che partono dalla matrice che permette di localizzare le perdite nei processi e di comprenderne l'impatto economico di ciascuna perdita nell'organizzazione. La suddivisione è tale per cui si individuano: nessun impatto economico, minimo impatto, impatto importante ed infine impatto molto importante. Si prosegue nell'analisi fino a giungere alla matrice ultima che rappresenta il monitoraggio e follow-up dei progetti in via di implementazione con l'obiettivo di controllare e supervisionare le attività in fase di miglioramento. [7]

2.4.1.3 Focused improvement

Il *focused improvement* rappresenta il miglioramento focalizzato. A partire dai risultati ottenuti con il *cost deployment*, ci si focalizza su un approccio che consente di risolvere le tematiche specifiche con benefici in termine di riduzione dei costi dovuti a perdite e sprechi. Si stabiliscono degli indicatori definiti come KPI e KAI che rappresentano rispettivamente i “**Key Performance Indicators**” ed i “**Key Activity Indicators**”. I primi (indicatori di prestazione) possono essere efficienza, produttività, qualità, sicurezza, mentre i secondi (indicatori di attività) possono riguardare numero di strumenti utilizzati, numero di suggerimenti, definizione di fabbisogni formativi. In questo caso, lo strumento maggiormente utilizzato è il ciclo PDCA descritto nel *Paragrafo 2.3.1*.

2.4.1.4 Autonomous maintenance e Workplace organization

Autonomous maintenance e Workplace Organization costituiscono insieme le *Autonomous Activities*. La prima (manutenzione autonoma) indaga la correlazione uomo-macchina e rappresenta l’insieme di attività volte a prevenire i guasti e le micro-fermate derivanti dal mancato mantenimento delle condizioni di base dei macchinari. Essa deve essere applicata da tutte le risorse che interagiscono quotidianamente con l’impianto. Dalla pulizia all’ispezione, fino all’autogestione del sistema di manutenzione autonoma. Appare evidente che questo pillar deriva direttamente dal concetto espresso dal Total Productive Maintenance di cui si è parlato nel *Paragrafo 2.3*.

La *Workplace Organization* indaga invece il rapporto uomo-ambiente lavorativo. Si tratta di un insieme di modelli e strumenti che hanno lo scopo di creare un luogo di lavoro ideale per assicurare qualità migliore, massima sicurezza e massimo valore, eliminando tutte quelle attività che non generano valore. In tale contesto risulta di fondamentale importanza anche l’attenzione all’ergonomia dell’ambiente lavorativo. Questa garantisce infatti maggiore sicurezza, benessere delle risorse umane e qualità delle operazioni, massimizzando la produttività tramite la minimizzazione degli spostamenti di persone e materiale (che come evidenziato nel *Paragrafo 2.1* rappresentano un forte fattore di perdita).

2.4.1.5 Professional Maintenance

Il pilastro della *Professional Maintenance* rappresenta invece la manutenzione professionale il cui obiettivo è quello di rimediare ad eventuali guasti insorti durante l’attività produttiva. In questo caso quindi il fine ultimo del pillar è rappresentato dal raggiungimento dello zero *failure* degli impianti, massimizzando l’efficacia delle macchine e della linea di produzione. Aumentando l’affidabilità si mira ad eliminare le attività di manutenzione straordinaria. I **KPI** analizzati in questo pilastro sono rappresentati dal numero di guasti, dal **MTBF** e dal **MTTR** (*Paragrafo 1.2.2.1.1*).

2.4.1.6 Quality control

Quality control fa riferimento principalmente al controllo qualità e cioè al raggiungimento dell’eccellenza della qualità in modo tale da soddisfare il cliente. Si individuano dunque i problemi e le difettosità che comportano una perdita per l’azienda: è necessario ridurre i difetti segnalati dal cliente, in modo da tenere sotto controllo gli standard qualitativi

desiderati. In questa circostanza si fa uso della logica delle *4M* (Man, Method, Material e Machine) che rappresentano le quattro categorie principali di cause di perdita da indagare. Quindi a partire, come al solito, dall'indagine sulle condizioni attuali, si passa alla riduzione e rimozione di tutte le cause di perdita cronica giungendo al miglioramento dei metodi di mantenimento. [3]

2.4.1.7 Logistics

Il pilastro della *logistica* si occupa del coordinamento dei flussi informativi e fisici di materiali sia all'interno dell'azienda che all'esterno verso i fornitori. A partire dal ridisegno delle linee di produzione si cerca di perfezionare la logistica in modo da ottenere, al solito, una riduzione di costi attraverso la riduzione dei tempi e rispettando in ogni caso la soddisfazione del cliente. In tale contesto, è utile citare i concetti di *make to stock* e di *make to order*. La prima tipologia di approvvigionamento è basata sulla pianificazione della produzione e sulla storicità di consumo di un determinato prodotto quindi, sulle previsioni fornite dagli enti commerciali. In definitiva, nel *make to stock* la produzione viene avviata in anticipo rispetto alla domanda, sulla base di previsioni; si gestiscono scorte a magazzino di prodotti finiti e gli ordini del cliente vengono serviti dalla disponibilità del magazzino ed i tempi di consegna sono brevi (dipendono soltanto dai tempi logistici di spedizione).

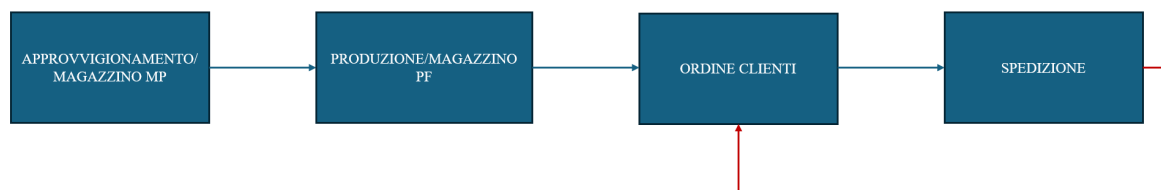


Figura 15: Schema dei flussi per il *make to stock*

Il *make to order*, invece, è un metodo di approvvigionamento che consiste nell'avvio della produzione di determinati prodotti, solo ad avvenuta conferma dell'ordine del cliente e consente di customizzare i prodotti, sulle specifiche esigenze di un cliente. Quindi, il *make to order* rappresenta la strategia opposta al *make to stock* utilizzata nel caso di prodotti complessi, costosi o personalizzati o comunque in tutti i casi in cui il processo produttivo abbia la flessibilità necessaria per poter inseguire la domanda volta per volta. Di conseguenza, la produzione è avviata solo a fronte dell'ordine cliente, il magazzino dei prodotti finiti è ridotto al minimo (tendente a zero), possono essere gestiti a magazzino materiali di acquisto ad alta rotazione comuni a più articoli di vendita ed i tempi di consegna al cliente sono più lunghi (dipendono dal lead time di produzione).

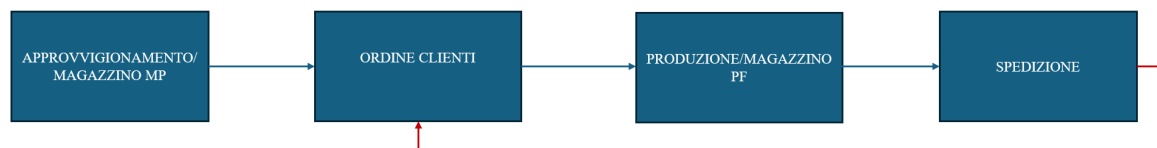


Figura 16: Schema dei flussi per il *make to order*

Alcune delle principali tecnologie utilizzate nell'analisi della logistica sono Just In Time (*Paragrafo 2.1.1*), kanban, FIFO che sta per "First In First Out", logica secondo la quale la merce stoccata per prima è anche la prima ad essere distribuita. Gli articoli vengono spediti per primi perché la loro data di scadenza è più vicina o perché è più probabile che diventino obsoleti. Il metodo FIFO è comunemente utilizzato nei magazzini con prodotti deperibili o con materiali che possono deteriorarsi se rimangono stoccati per lungo tempo. [2;3]

2.4.1.8 Early Product /Equipment Management

Lo scopo principale di questo pilastro è quello di rendere competitiva l'impresa, come al solito anticipando eventuali problematiche che possono insorgere. Si presta particolare attenzione alla stretta e continua collaborazione tra progettisti e fornitori in modo tale da installare macchinari con elevata qualità ed affidabilità. Ciò si applica sia alla progettazione di nuove macchine ed attrezzature, sia alle nuove prospettive di prodotti introdotti e realizzati. Le competenze acquisite sulla base dell'esperienza passata rappresentano la fonte principale da cui attingere per le strategie future.

2.4.1.9 People development

Il *people development* fa riferimento allo sviluppo personale. Le risorse umane rappresentano un tassello fondamentale in ottica **WCM**, come ampiamente fatto presente fin qui, in quanto il know-how (non solo di manager e tecnici, ma di tutti gli operatori) costituisce un elemento di elevata competitività. Lo sviluppo del personale consente di azzerare gli errori umani, sviluppare professionalità (in modo tale da fidelizzare i lavoratori), accrescere le capacità di realizzare la manutenzione autonoma e creare un ambiente di lavoro motivante.

2.4.1.10 Environment

Infine, non meno importante risulta la salvaguardia dell'ambiente, in accordo con gli standard ed i requisiti legislativi, utile anche e soprattutto a garantire la sicurezza. [3]

3. Simulazione della produzione

3.1 La simulazione

La simulazione rappresenta la quinta tecnologia abilitante dell'industria 4.0.

Le simulazioni al computer sono le tecniche e gli strumenti più frequentemente utilizzati nell'ingegneria della produzione, logistica o industriale ampiamente intesa. Per rimanere competitive, le aziende devono progettare sistemi di produzione che non solo producano prodotti di alta qualità ed a basso costo, ma che consentano anche una risposta rapida ai cambiamenti del mercato e alle esigenze dei consumatori. Identificare gli errori nella fase di pianificazione è molto più economico per un'azienda che farlo dopo l'avvio di un progetto o la sua piena implementazione. La simulazione consiste nel creare un modello del sistema reale comprendente tutte le sue caratteristiche rilevanti, per poi utilizzarlo in modo da effettuare esperimenti, comprendere il suo comportamento ed ottimizzarlo. [8]

Per poter ottimizzare i processi produttivi è dunque fondamentale simulare lo stabilimento esistente o recentemente progettato. La prima fase utile per l'introduzione di un nuovo prodotto è rappresentata dallo sviluppo di una sua copia virtuale con strumenti CAD ("*Computer Aided Design*"). Tale modello CAD viene sottoposto ad una serie di test nell'ambiente virtuale, in modo da confermarne prestazioni e comportamento previsti. I dati raccolti nel mondo virtuale vengono poi utilizzati a valle, per aiutare a definire le fasi di pianificazione ed esecuzione della produzione del prodotto.

Questo stesso approccio può essere applicato ad un intero stabilimento di produzione: è possibile creare una copia digitale dell'area di produzione ed eseguire test di simulazione per comprendere le prestazioni in condizioni diverse. Qualsiasi modifica può essere valutata ed analizzata nell'ambiente virtuale prima di essere implementata nel mondo reale. Va da sé che sfruttare modelli di simulazione per progettare un impianto di produzione e comprenderne il comportamento consente alle aziende di ottimizzare i processi, ridurre i costi e migliorare la competitività. La simulazione della produzione fornisce un modo sicuro ed economicamente vantaggioso per sperimentare vari scenari e prendere decisioni basate sui dati. In sintesi, la simulazione della produzione è una soluzione software che offre la possibilità di costruire, analizzare e ricreare i processi di produzione del mondo reale in un ambiente virtuale. Ciò consente agli utenti di esaminare gli scenari del mondo reale in un ambiente virtuale privo di rischi in modo da poter analizzare i dati, ottimizzare i processi e prendere decisioni informate. [9]

I risultati prodotti da una simulazione possono essere utilizzati o per meglio comprendere come sta funzionando uno stabilimento oppure per analizzare ulteriori possibili scenari.

Il primo utilizzo è giustificato dal fatto che ad esempio a causa della complessità dei processi e dell'ampio numero di variabili del sistema, è difficile tener conto di tutte le parti coinvolte. Dunque, stabilire la capacità effettiva, identificare i colli di bottiglia e generare i **KPI** risulta talvolta difficoltoso. La simulazione facilita l'operatore nell'ottenere i risultati delle analisi. L'utilizzo della simulazione per la valutazione di diversi scenari, invece, consente alle aziende di apportare modifiche virtuali ad uno stabilimento e di valutare tali modifiche prima che venga eseguito qualsiasi lavoro fisico. A causa del tempo, degli sforzi e dei costi necessari per apportare modifiche fisiche, è fondamentale garantire che le modifiche apportate siano corrette per lo stabilimento e che diano il risultato desiderato. Tutto ciò è molto più veloce, economico e semplice da fare in modo virtuale, usando un modello di simulazione.

Le caratteristiche della simulazione della produzione possono essere così riassunte:

- Analisi dei colli di bottiglia;
- Valutazione e gestione di scenari “*What If*” (“cosa accade se?”) utili ad effettuare controlli di capacità o ad esempio a osservare gli effetti derivanti dall’introduzione di disturbi;
- Report e visualizzazione dei dati;
- Algoritmi di ottimizzazione;
- Visualizzazione 2D e 3D;
- Definizione e monitoraggio dei KPI. [9]

I vantaggi legati alla simulazione della produzione sono quindi molteplici: ottimizzazione dei processi, del ciclo produttivo e delle risorse, riduzione dei costi di produzione, mitigazione del rischio e valutazione degli investimenti dello stabilimento.

In particolare, le fasi che di solito si eseguono per effettuare una corretta simulazione di impianto sono:

1. **Analisi dello stato attuale (scenario AS-IS):** una volta selezionata la famiglia di prodotti da analizzare, la prima operazione da fare consiste nel creare una mappatura di tutti i processi che concorrono alla realizzazione del prodotto, dal fornitore alla consegna. Nelle diverse fasi del sistema di produzione, dunque, si distinguono le operazioni che contribuiscono alla creazione del valore aggiunto e da quelle che, al contrario, non danno valore aggiunto. Viene costruito il modello di simulazione rappresentativo dello stato attuale del sistema di produzione, per osservare le sue prestazioni in condizioni dinamiche, che imitano le impostazioni reali. Al termine dell’analisi dello stato attuale vengono formulate alcune ipotesi su come le varie configurazioni di sistema impattano sui diversi KPI e sulla valutazione di quale delle diverse tecniche di produzione applicare (*Capitolo 2*).
2. **Progettazione dello stato futuro (scenario TO-BE):** poiché possono essere progettati differenti flussi per lo stato futuro, viene messa a punto una progettazione degli esperimenti con i diversi scenari alternativi. Per osservare le prestazioni di ogni scenario, è necessario costruire un modello di simulazione per ognuno di essi. Vengono quindi eseguiti, come nel modulo precedente, i calcoli utili alla formulazione dei **KPI** al fine di confrontare le diverse alternative.
3. **Analisi “*what if*” e convalida del progetto:** in questo modulo vengono applicati metodi di analisi statistica per confrontare gli effetti delle tecniche di produzione e delle configurazioni di sistema ipotizzate. L’analisi “*what if*” è un’analisi predittiva che supporta i processi decisionali, fornendo le indicazioni e l’orientamento per le strategie a lungo termine. Lo scopo è quello di valutare l’impatto di una variabile (per esempio la scelta di un determinato numero di risorse o di elementi ipotizzati a valle della simulazione) su altre variabili come costi e profitti. Tale analisi, in pratica, consiste nello sviluppo di scenari alternativi partendo da delle ipotesi di base. Variando alcuni parametri, è possibile simulare diversi scenari e quindi capire quale impatto avrebbe una determinata scelta sul profitto dell’impresa. In particolare, se le ipotesi non possono essere convalidate, allora devono essere riformulate e devono essere costruiti nuovi diversi scenari futuri.
4. **Implementazione dello scenario convalidato:** l’ipotesi che a monte rappresenta lo stato futuro diventa quindi lo stato attuale. Il monitoraggio è importante soprattutto per verificare se lo scenario implementato sia effettivamente conforme a quello previsto.

L’intera procedura, appena descritta, viene implementata se si vuole monitorare lo stato attuale nell’ottica del miglioramento continuo oppure ogni qual volta è necessaria una

modifica dell'impianto in termini di aumento di capacità e/o produzione di nuovi prodotti.
[10]

3.1.1 Il ciclo della simulazione

Nella fase di definizione del modello è indispensabile considerare tutte quelle funzioni che si desidera analizzare pena il rischio di ottenere risultati parziali oppure errati. Bisogna tenere comunque presente che un modello troppo complesso può determinare tempi di elaborazione troppo lunghi e dunque inaccettabili per un'azienda. È necessario quindi trovare un buon compromesso tra l'esigenza di avere un modello il più completo possibile e quella di mantenere tempi di elaborazione accettabili.

Un ulteriore aspetto importante da considerare è il numero di risorse da dedicare alla simulazione; in generale, sono da evitare modelli eccessivamente complessi poiché il tempo di modellazione ed elaborazione dei risultati diventa incompatibile con le esigenze del sistema produttivo.

Una generica simulazione ha un proprio ciclo di vita del tutto simile ad una qualsiasi attività di pianificazione. Le varie fasi del ciclo di simulazione possono essere ripetute più volte fino ad ottenere una soluzione accettabile.

Il ciclo della simulazione può essere schematizzato al seguente modo:

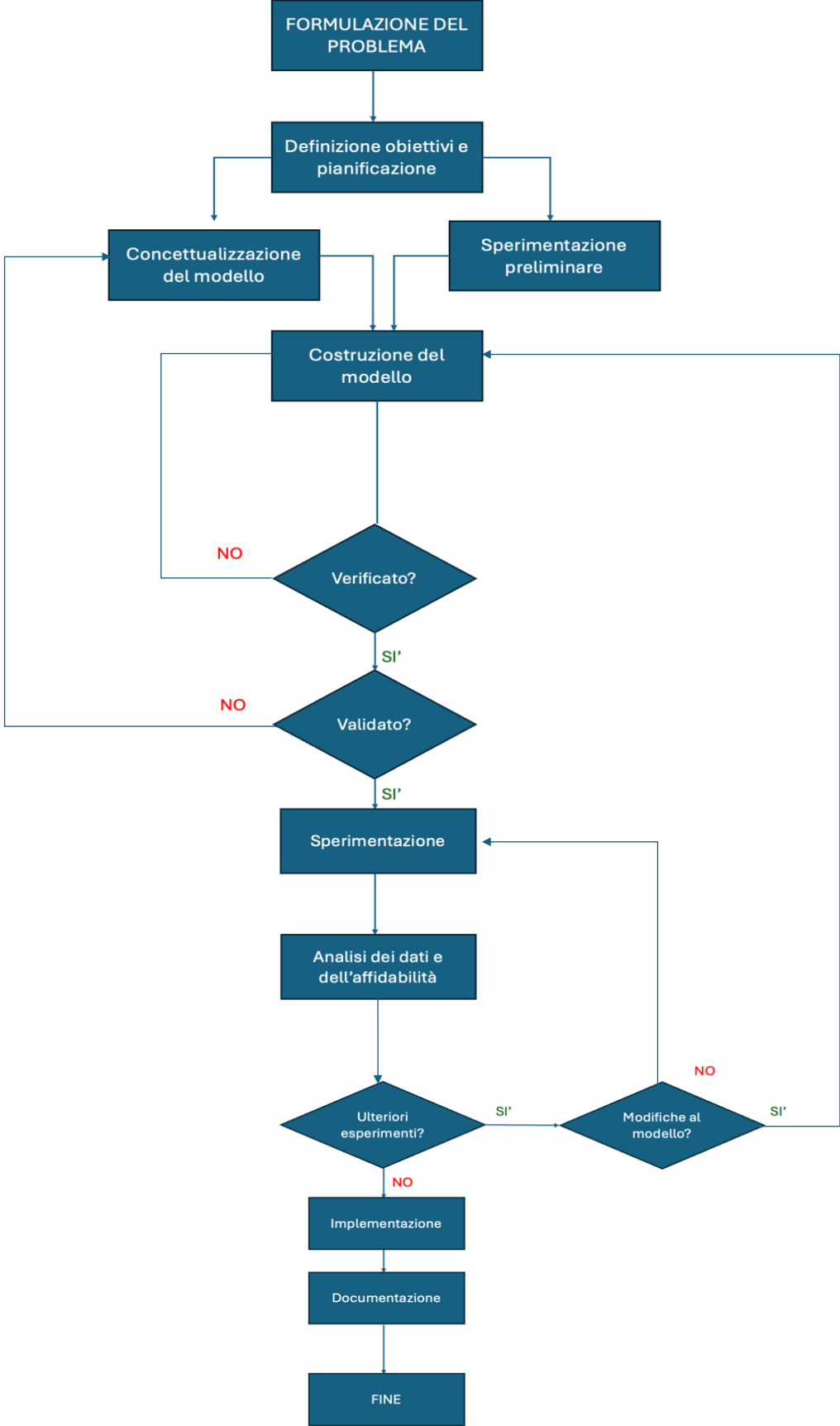


Figura 17: Diagramma a flussi del ciclo di simulazione

La simulazione procede dunque secondo le seguenti fasi:

1. **Formulazione del problema:** viene definito il sistema da simulare;
2. **Osservazione** e studio del fenomeno fisico: raccolta dei dati;
3. **Formulazione e verifica di ipotesi** e sviluppo di un modello matematico che spieghi quanto osservato;
4. **Validazione del modello:** si confrontano i valori in uscita con dati sperimentali; in caso di discordanze eccessive si modifica il modello, si calibrano alcuni suoi parametri o si verificano nuovamente le ipotesi;
5. **Determinazione dei valori ottimali** dei tempi di simulazione: condizioni iniziali, algoritmi di integrazione, numero e tipo di test necessari;
6. **Ottimizzazione della soluzione finale:** convergenza operando su uno o più parametri;
7. **Analisi dei risultati:** elaborazioni statistiche per le misure delle prestazioni del sistema;
8. **Previsione** del comportamento del sistema in base alle soluzioni e proprietà del modello matematico;
9. **Presentazione dei risultati** della simulazione con eventuale confronto su dati sperimentali;
10. **Eventuale introduzione di dati sperimentali** al fine di ottenere una simulazione più vicina alla realtà;
11. **Redazione della documentazione** in modo che si abbia una corretta interpretazione dei risultati. [8]

3.2 Modelli di simulazione

Esistono diverse tipologie di modelli che possono essere utilizzati nella simulazione dei processi produttivi per descrivere un'attrezzatura di produzione, una macchina o un intero sistema produttivo.

Precisamente si parla in termini di:

- **Modelli matematici:** gli elementi del sistema ed i loro attributi sono descritti da modelli matematici analitici o sperimentali;
- **Modelli grafici:** rappresentazione bidimensionale o tridimensionale del sistema;
- **Modelli fisici:** possono avere la stessa scala oppure scala diversa rispetto al sistema.

Il modello matematico è la descrizione matematica dei fenomeni fisici e sostituisce una descrizione di tipo qualitativo con una descrizione di tipo quantitativo. Esso può contenere anche modelli logici che in certi casi sono più idonei a descrivere il fenomeno, rispetto ai modelli puramente matematici (come, ad esempio, i blocchi decisionali). I modelli matematici a loro volta possono essere classificati come:

- Lineari o non lineari, a seconda della linearità o meno delle relazioni matematiche che li descrivono;
- A parametri concentrati o distribuiti: i primi sono descritti da equazioni differenziali ordinarie con una sola variabile indipendente, mentre i secondi sono molto più complessi in quanto sono descritti da equazioni alle derivate parziali, dove compaiono come variabili indipendenti oltre al tempo, anche una o più componenti spaziali;
- Statici o dinamici: i modelli statici non prendono in considerazione il tempo e possono rappresentare il sistema in un determinato istante, mentre quelli dinamici descrivono l'evoluzione del sistema nel tempo.

- Continui o discreti: i primi sono descritti da equazioni in cui le variabili dipendenti sono continue nel tempo, i secondi invece hanno le variabili dipendenti che sono definite solo in istanti distinti.
- Deterministici o stocastici: un modello è deterministico se privo di aleatorietà, oppure stocastico se sono presenti elementi probabilistici.

I modelli grafici invece sono ampiamente utilizzati per rappresentare il comportamento di un sistema produttivo. Le varie operazioni produttive possono essere visualizzate tramite icone o simboli. I modelli fisici prevedono la realizzazione di un modello fisico del sistema produttivo che deve contenere tutte le funzioni del sistema reale. [8]

3.2.1 Simulazione ad eventi discreti

Uno dei principali metodi utilizzati per la risoluzione di un modello è la simulazione ad eventi discreti, impiegata soprattutto nel caso di applicazioni produttive, in modo da analizzarne il flusso e determinare la potenzialità, i colli di bottiglia, la distribuzione dei pezzi alle stazioni di lavoro, individuare alternative.

La maggior parte dei processi produttivi è ad eventi discreti (i tempi sono definiti dalla variazione dello stato del sistema) e deve essere descritta come tali e non da funzioni matematiche continue.

Un “evento” è definito come un qualcosa che accade in un istante di tempo che potrebbe cambiare lo stato del sistema. Per esempio, l’accadere di un determinato evento può essere utilizzato per prendere una determinata decisione sul funzionamento del sistema in un particolare momento.

Allora, per attuare la simulazione ad eventi discreti sono necessari i seguenti elementi:

1. Generatore di numeri casuali: si creano degli algoritmi in grado di generare dei numeri random ed ottenere risultati sempre differenti;
2. Distribuzione di probabilità degli eventi da analizzare: si effettua ad esempio più volte la stessa simulazione e se ne ricava valore medio e deviazione standard;
3. Dati e funzioni statistiche;
4. Dispositivi per il controllo del tempo: bisogna abbinare un tempo ad un evento.

In un processo produttivo di elementi discreti, il flusso dei prodotti avviene in modo stocastico e gli eventi (ad esempio l’approvvigionamento dei fornitori) accadono seguendo una certa funzione di distribuzione della probabilità che deve essere nota e inserita nel simulatore. Il problema risiede dunque nell’individuare tale funzione per il sistema produttivo che si vuole simulare e spesso ci si affida all’esperienza su processi simili. In altri casi, si deve ricorrere ad una sperimentazione preliminare su un prototipo del sistema. [8]

3.3 Il Digital Twin

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, le attuali tecnologie permettono di simulare il comportamento dei macchinari consentendo di ottimizzare le loro prestazioni e di ridurre i test sperimentali. Ai processi tradizionali viene aggiunto il “Digital Twin” (letteralmente “gemello digitale”), una copia digitale del sistema produttivo a supporto delle fasi di

ottimizzazione e riconfigurazione del processo che funge da base per la minimizzazione dei tempi tra la progettazione e la consegna del prodotto.

Alla base della simulazione si ha quindi un modello che descrive tutte le caratteristiche ed i comportamenti del sistema, e reagisce esattamente nello stesso modo del sistema reale permettendone lo studio e l'analisi.

Si tratta della creazione di un gemello appunto che rappresenta virtualmente una fabbrica, un impianto, un prodotto o un servizio con una corrispondenza tra attributi fisici e digitali.

L'introduzione e sviluppo del Digital Twin nel settore manifatturiero è stata lenta e la sua evoluzione si è articolata in quattro fasi.

1. Nella prima fase esisteva soltanto la dimensione fisica del processo, alla quale era affidato l'intero sviluppo;
2. In un secondo momento si è assistito alla comparsa della componente digitale che però rappresentava un'entità completamente dissociata rispetto a quella fisica, non ancora in grado di interagire con la realtà;
3. Durante la terza fase si è vista una parziale collaborazione tra le due componenti in grado di comunicare fra di loro e scambiarsi informazioni;
4. Nella sua ultima versione si è consolidata una completa comunicazione ed intersezione fra componente fisica e componente digitale, in grado di collaborare fianco a fianco. **[8]**

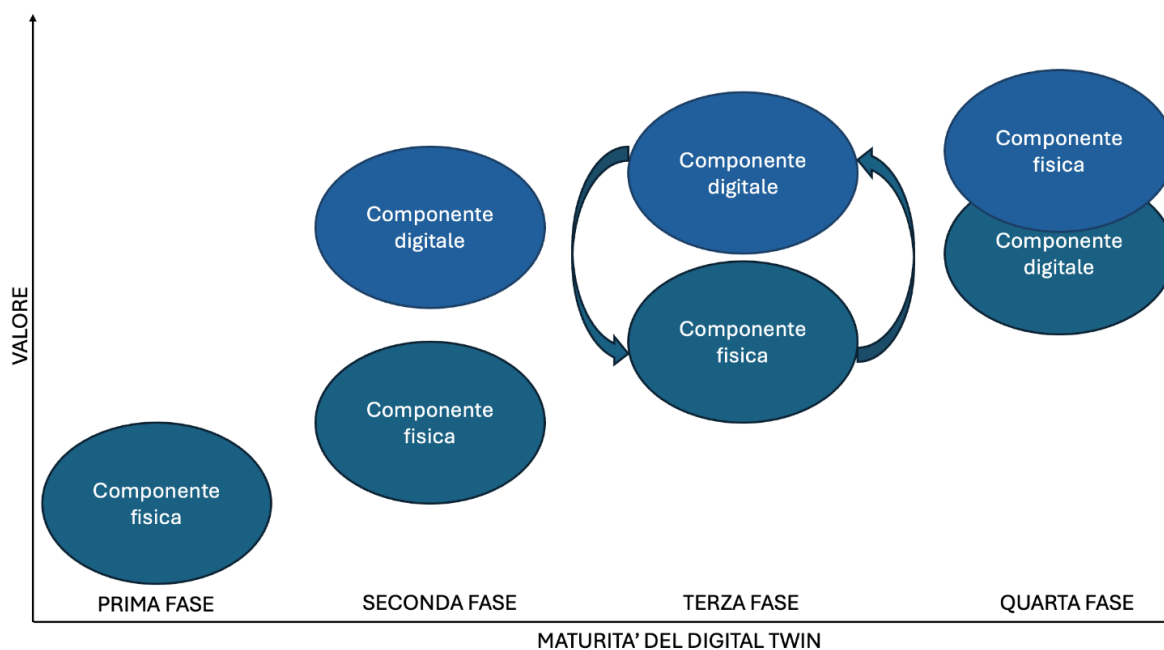


Figura 18: Fasi dell'interazione di dimensione fisica e digitale

4. Plant Simulation

Oggigiorno il mercato offre molti strumenti per la simulazione. Il software di simulazione utilizzato nell'ambito di questa tesi è *Tecnomatix Plant Simulation* di Siemens Industry Software. Si tratta di un software non open source che consente un'ottima rappresentazione dei flussi a tutti i livelli del processo produttivo, caratterizzato da una buona flessibilità nella costruzione e nell'utilizzo del modello. Esso permette di creare modelli digitali dei sistemi logistici per l'esplorazione delle caratteristiche dei sistemi e consente di ottimizzare il flusso dei materiali, l'impiego di risorse e la logistica a tutti i livelli di pianificazione degli impianti, da stabilimenti di produzione di importanza mondiale a impianti locali, fino a singole linee specifiche.

Come descritto nel *Paragrafo 3.1* è quindi stato possibile, tramite l'utilizzo di **Plant Simulation**, realizzare esperimenti e scenari ipotetici senza interferire con i sistemi di produzione esistenti. Strumenti di analisi completi, come analisi dei colli di bottiglia, statistiche e grafici hanno permesso di valutare i vari scenari di produzione. I risultati hanno fornito le informazioni necessarie per prendere decisioni rapide e affidabili fin dalle fasi preliminari della pianificazione.

Le principali funzionalità di **Plant Simulation** possono essere sintetizzate come segue:

- Modellazione grafica: consente di creare rappresentazioni visive dei processi produttivi, facilitando la comprensione e la comunicazione;
- Simulazione: permette di eseguire simulazioni per valutare il comportamento del sistema nel tempo, identificando colli di bottiglia ed inefficienze;
- Analisi dei dati: fornisce strumenti per raccogliere e analizzare i dati di performance, aiutando a prendere decisioni informate;
- Ottimizzazione: consente di testare diverse configurazioni e strategie operative per trovare la soluzione migliore;
- Integrazione: può essere integrato con altri software e sistemi per una gestione più completa delle operazioni aziendali. [11]

Si precisa che questo strumento di simulazione è ad eventi discreti (*Paragrafo 3.2*).

Inoltre, entrando più nello specifico nel modus operandi del software, si può affermare che il linguaggio di programmazione è Object-Oriented (OO); ciò significa che contiene una vasta libreria di oggetti preimpostati, come ad esempio una singola stazione di processo, un trasportatore, un magazzino e così via. La programmazione OO, infatti, permette di definire degli oggetti che sono in grado di interagire gli uni con gli altri attraverso lo scambio di informazioni grazie all'implementazione di logiche specifiche. Tali oggetti sono dotati di ereditarietà, struttura gerarchica e polimorfismo. Ogni oggetto, utilizzato per la costruzione del modello, appartiene ad una determinata Classe e prende il nome di Istanza. L'ereditarietà consente ad ogni oggetto di mantenere le caratteristiche della Classe di appartenenza. Tutte le Classi sono contenute all'interno delle librerie di **Plant Simulation**. L'esistenza di una precisa struttura gerarchica fa sì che, modificando le caratteristiche di una singola Istanza, quelle della Classe di appartenenza rimangano invariate. Infine, il polimorfismo è legato al concetto di ereditarietà e si riferisce al fatto che un metodo (o più in generale una proprietà) dell'oggetto, definito all'interno di una Classe, può assumere valori o restituire risultati diversi a seconda dell'istanza in cui viene richiamato. In virtù del polimorfismo gli oggetti appartenenti ad una stessa Classe dispongono di una stessa interfaccia, che può essere implementata in modo diverso in base alle necessità. In sostanza,

si ha la possibilità di sviluppare nuovi oggetti, unendo o modificando le proprietà di quelli già esistenti ed il nuovo oggetto creato può diventare a sua volta una Classe.[12;13]

Inoltre, essendo un software OO, segue una struttura ad albero; essa è visualizzabile anche sull'interfaccia del software stesso: nascono cartelle e sottocartelle che consentono di aprire più rapidamente la classe o l'oggetto che si ha necessità di modificare.

4.1 Principali oggetti utilizzati

Come anticipato, **Plant Simulation** è un software che si basa sulla programmazione ad oggetti. Si tenga dunque presente che, per ogni elemento di cui in avanti analizzato, è possibile fornire le logiche di funzionamento scrivendo il codice nella sezione “*Controls*” di ciascun oggetto.

4.1.1 Event Controller

A causa della natura dinamica del modello di simulazione è importante tener traccia del tempo simulato. In **Plant Simulation** ciò avviene grazie ad un oggetto chiamato *Event Controller*. Esso è un orologio di simulazione che viene inizializzato ogni volta che si avvia la simulazione e che ne coordina gli eventi che si succedono. La scheda “*Controls*” dell'*Event Controller* contiene i comandi per avviare, stoppare, resettare e stabilire la velocità di esecuzione della simulazione. Cliccando su “*Step*” (doppia freccia verso destra di colore blu) si può far procedere la simulazione step by step processando un solo evento alla volta. La simulazione allora, essendo ad eventi discreti, salta da un evento all'altro senza aspettare il tempo che trascorre tra di essi.

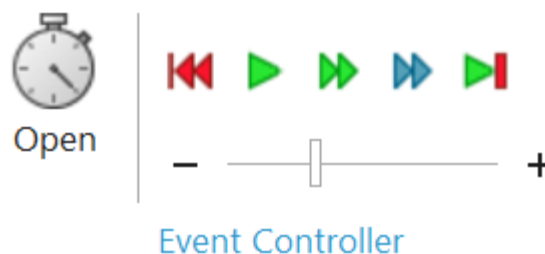


Figura 19: Elemento “Event Controller”

Cliccando su “*Time*” si può decidere se far partire la simulazione semplicemente al tempo zero oppure in una data specifica. Quest'ultima può essere impostata nella scheda “*Settings*” nella cui schermata devono essere definiti anche la durata della simulazione (*End*) come tempo relativo (quindi ad esempio scrivendo quante ore o quanti giorni dopo l'inizio della simulazione, farla terminare) ed il tempo di *warm-up* (*Statistics*) che indica la fine del transitorio, istante in cui il software può iniziare a generare le statistiche richieste (la simulazione parte in un certo istante di tempo ma ad ogni intervallo impostato, ad esempio ogni giorno, si ha un reset dei dati raccolti). Quest'ultima impostazione risulta particolarmente importante perché per la valutazione della simulazione sono necessari i dati statistici raccolti da tutti gli oggetti che compongono il flusso di materiale rappresentato; per avere una stima corretta delle diverse variabili che si intendono esaminare, è necessario che le relative statistiche siano prodotte soltanto in seguito al riempimento del sistema: la

linea produttiva nell'istante iniziale della simulazione è interamente vuota e una statistica calcolata al tempo zero terrebbe conto di un'inefficienza naturale.

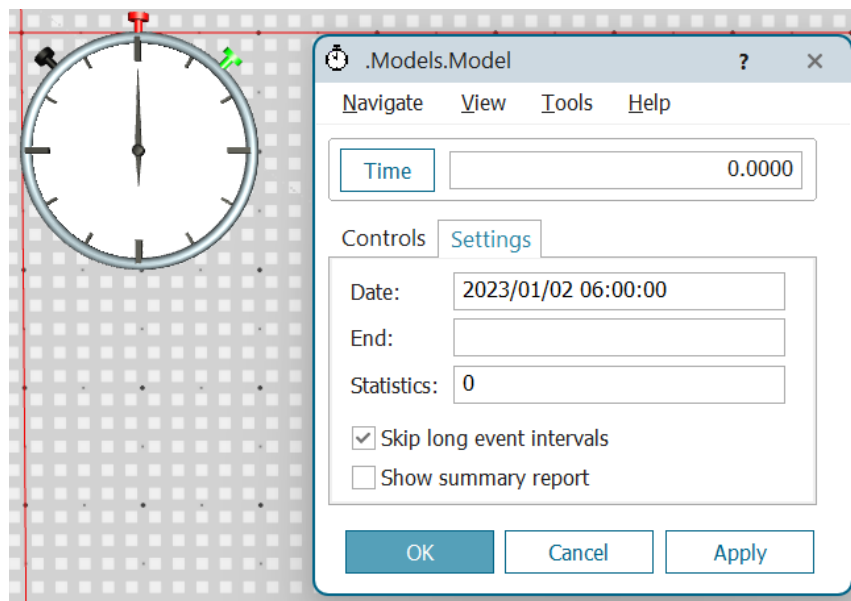


Figura 20: Dettagli dell' "Event Controller"

L'intero modello di simulazione viene inizializzato al tempo zero con un metodo principale chiamato "Init" che richiama l'intera routine di inizializzazione dello stato del sistema e tutte le statistiche vengono azzerate. Ogni oggetto contiene dati, che ne descrivono lo stato in un determinato momento, e metodi, che descrivono le azioni che l'oggetto esegue quando si realizzano determinate condizioni. [14;15]

4.1.2 Toolbox

La *Toolbox* rappresenta uno degli strumenti più importanti ed intuitivi all'interno del software; si tratta fondamentalmente di una barra degli strumenti (simil contenitore) in cui i diversi oggetti della libreria di classi possono essere selezionati e direttamente trascinati nell'area di lavoro (frame). All'interno di quest'ultima, in particolare, si possono rappresentare i diversi macchinari di lavorazione che formano le varie linee di produzione e che a loro volta si uniscono per rappresentare l'intero impianto.

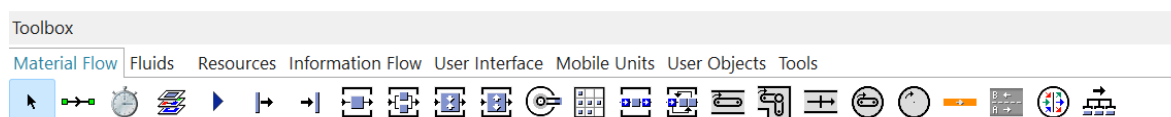


Figura 21: Elemento "Toolbox"

Per impostazione predefinita, la finestra degli strumenti mostra i seguenti oggetti: flusso di materiale, fluidi, risorse, flusso di informazioni, interfaccia utente, unità mobili, oggetti utente e strumenti. In particolare, tramite gli oggetti del "Material Flow" (Flusso di materiale) si possono rappresentare nel dettaglio tutti gli elementi del flusso produttivo

come stazioni di lavoro, strade, mezzi di movimentazione (alcuni dei quali descritti nei paragrafi successivi). [14;15]

4.1.3 Source e Part

All'inizio del flusso produttivo è necessario posizionare una "Source" cioè una sorgente che genera entità (cioè "Parti" dette anche MUs nel linguaggio di programmazione del software) che si muovono attraverso l'impianto e che vengono lavorate dalle diverse stazioni.

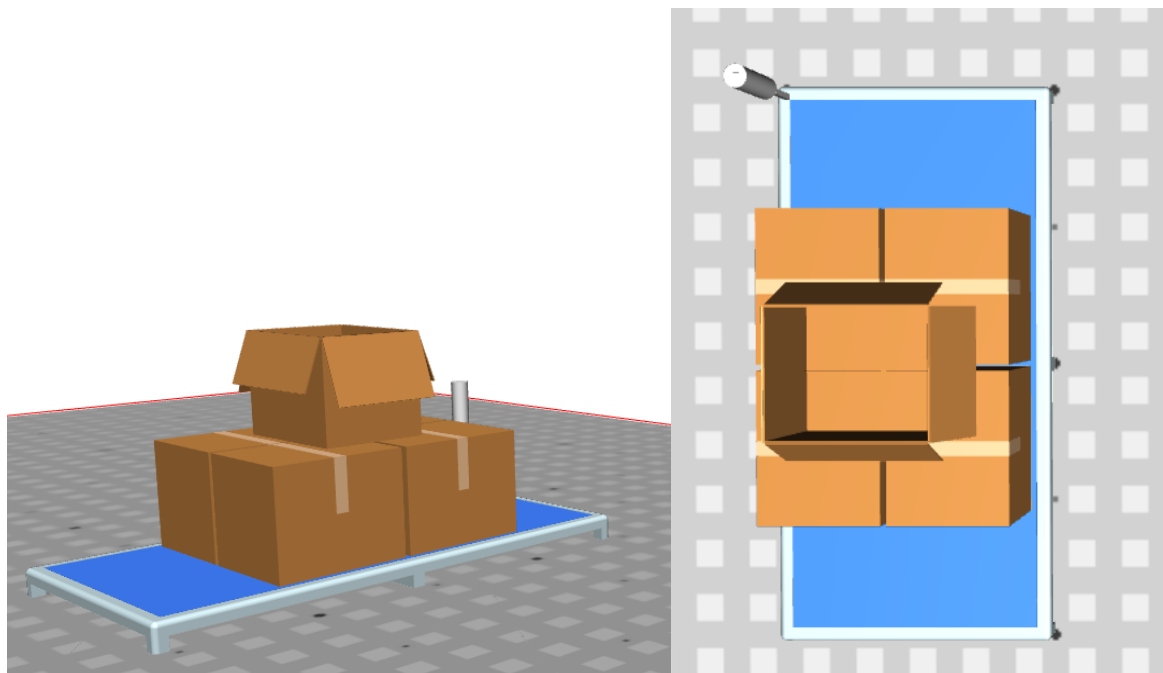


Figura 22, Figura 23: Elemento "Source"

Per entità, in questo caso, si intende un oggetto di flusso di materiale in movimento senza capacità di carico, ossia un qualsiasi prodotto o pezzo che viene lavorato dal sistema produttivo. Le entità prodotte dalla sorgente possono essere dello stesso tipo oppure di differenti tipi secondo un mix produttivo o seguendo una determinata sequenza ciclica. Si deve stabilire, dunque, la logica di generazione e l'intervallo di tempo con cui le entità sono introdotte nel sistema. L'entità, una volta creata, si muove direttamente nell'oggetto al quale la sorgente è collegata e per farlo, dunque, richiede l'utilizzo di risorse. Se una determinata risorsa richiesta non è disponibile allora l'entità deve attendere; la stazione in cui si trova continua ad essere occupata e può generarsi una "coda".

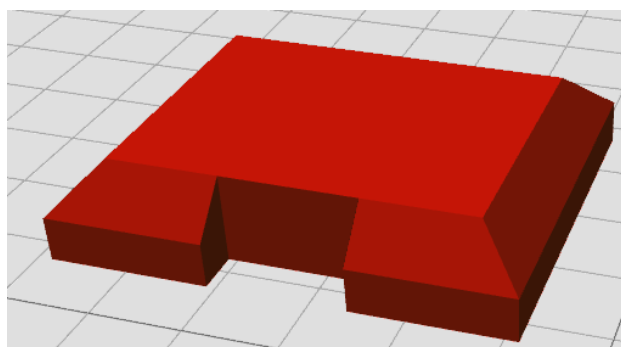


Figura 24: Elemento "Part"

Le entità si distinguono le une dalle altre per i loro attributi che rappresentano precise informazioni memorizzate al loro interno. Le diverse caratteristiche dell'elemento (prodotto o pezzo lavorato) come, ad esempio, colore e dimensioni possono essere modificate aprendo la parte in una finestra 3D e editando le specifiche. Il tutto può essere fatto andando a settare le proprietà legate al “*Material*” come di seguito riportato: [14;15]

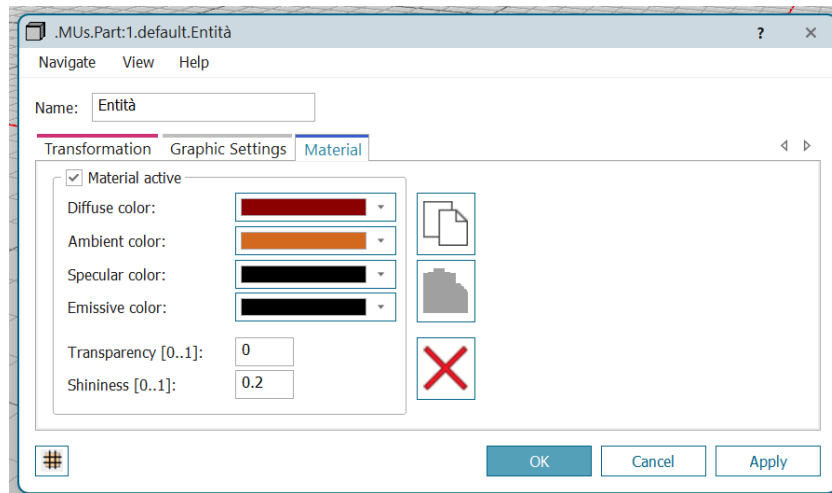


Figura 25: Dettaglio finestra di dialogo dell'elemento “Part”

4.1.4 Station

Le singole stazioni di lavoro sono denominate “*Station*” e rappresentano le macchine dell'impianto; possono essere collegate tra di loro con dei connettori che indicano la direzione del flusso delle entità. La stazione riceve un'unità di elaborazione dal suo predecessore, la elabora e la trasferisce a uno dei suoi successori dopo il tempo di configurazione e il tempo di elaborazione. Se i tipi di MU non sono identici, cioè se non hanno lo stesso nome, la stazione deve essere impostata per elaborare il nuovo tipo di MU. [14;15]

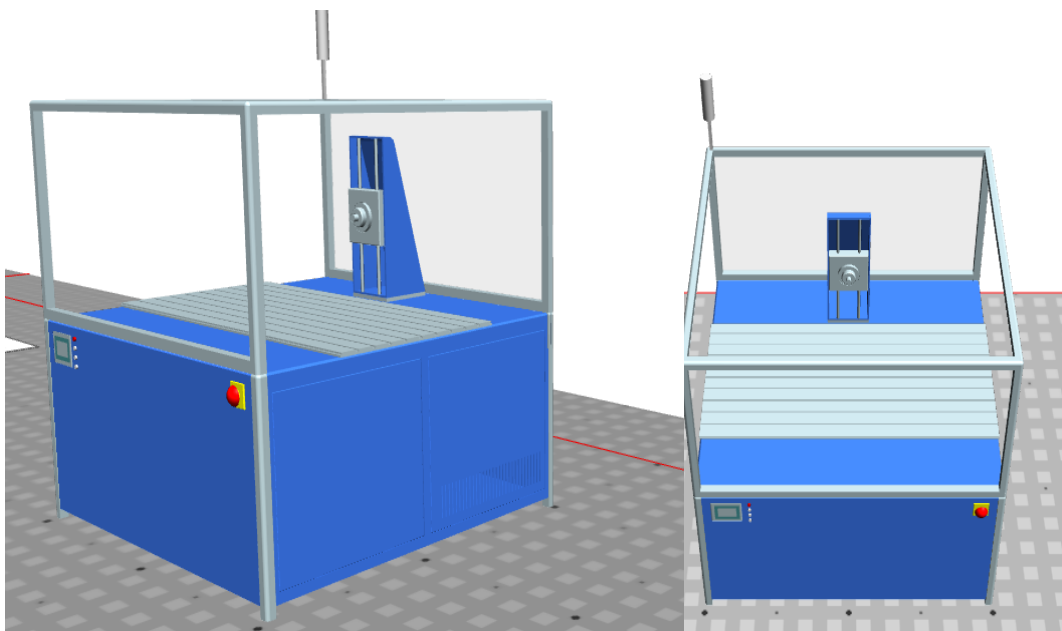


Figura 26, Figura 27: Elemento “Station”

4.1.5 Drain

Se la “*Source*” è necessaria per generare il flusso di materiali, allo stesso modo si ritiene di fondamentale importanza inserire un “*Drain*” per rimuovere le entità quando le lavorazioni che esse devono subire giungono al termine. In altre parole, si può dire che il “*Drain*” rappresenta una sorta di “Cestino” utile a far uscire dal sistema le varie entità. Si noti che può essere utilizzato anche per modellare il reparto spedizioni dell’impianto. Le proprietà integrate del “*Drain*” sono le stesse della “*Station*”: l’unica differenza è che il primo rimuove la parte lavorata dall’impianto invece di spostarla su un oggetto successivo nel flusso di materiali, come invece accade per la stazione. Il “*Drain*” è fondamentalmente la controparte della “*Source*”. [14;15]

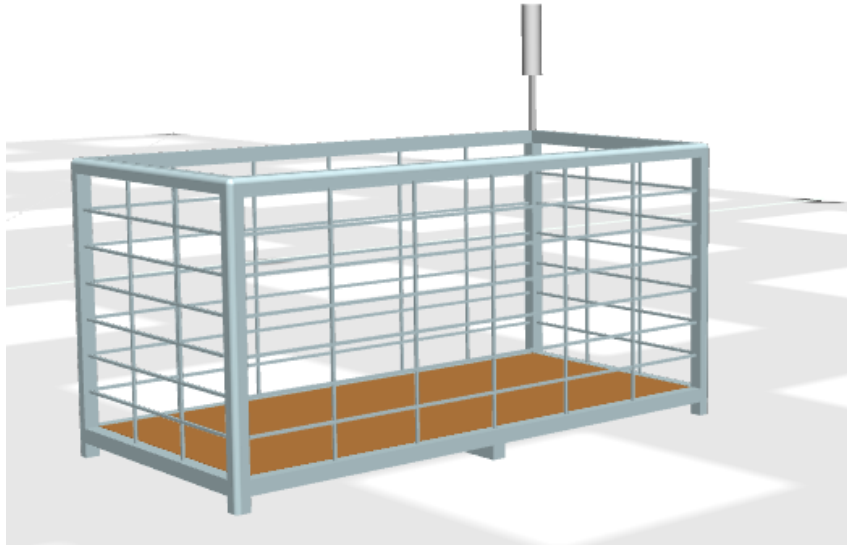


Figura 28: Elemento “Drain”

4.1.6 Conveyor

Con l’oggetto “*Conveyor*” è possibile modellare un sistema di trasporto o una parte di esso. A differenza degli oggetti di flusso di materiale orientati al punto, esso utilizza la lunghezza effettiva, immessa durante l’esecuzione della simulazione: il trasportatore trasferisce un’entità per tutta la sua lunghezza, a velocità costante. Una parte non ne può superare un’altra che si muove davanti ad essa. Si può analizzare cosa accade quando si posiziona un *Conveyor* nell’impianto, in funzione di quale sia l’oggetto a cui esso viene collegato:

- Passaggio da un oggetto orientato al punto a un oggetto orientato alla lunghezza: quando ci si sposta da un oggetto orientato a un punto, come una sorgente o una stazione, a un nastro trasportatore, la parte anteriore della MU si sposta all’inizio del nastro trasportatore. Se la stazione e il trasportatore non sono posizionati direttamente fianco a fianco, il MU sembra sospeso nel nulla. Se gli oggetti sono invece posizionati direttamente uno accanto all’altro, non si noterà alcuna differenza perché l’entità sembrerà essere posizionata ancora sul predecessore.
- Passaggio da un oggetto orientato alla lunghezza a un oggetto orientato al punto: quando ci si sposta viceversa da un oggetto orientato alla lunghezza (*Conveyor*) ad un oggetto orientato al punto, come una stazione, l’unità si muove sempre completamente e istantaneamente, cioè si trova su quell’oggetto nel suo insieme, non solo nella sua sezione anteriore. È inoltre possibile inserire la distanza tra le parti sul nastro trasportatore. Essa rappresenta la distanza tra la fine della MU che si trova sul *Conveyor*

e l'inizio della MU successiva che vuole entrare. Se non arrivano altri pezzi, il nastro trasportatore si ferma una volta raggiunta questa distanza; non appena arriva la MU successiva ricomincia a trasportare le parti. Si nota che se la stazione precedente sposta le MU più velocemente del trasportatore che utilizza lo spazio, la distanza delle MU può ridursi.

- Passaggio da un oggetto orientato alla lunghezza ad un oggetto orientato alla larghezza: quando si passa da un *Conveyor* all'altro la MU si sposta continuamente, cioè solo la sua parte anteriore si sposta verso il successore, mentre il resto segue con la velocità specificata. [14;15]

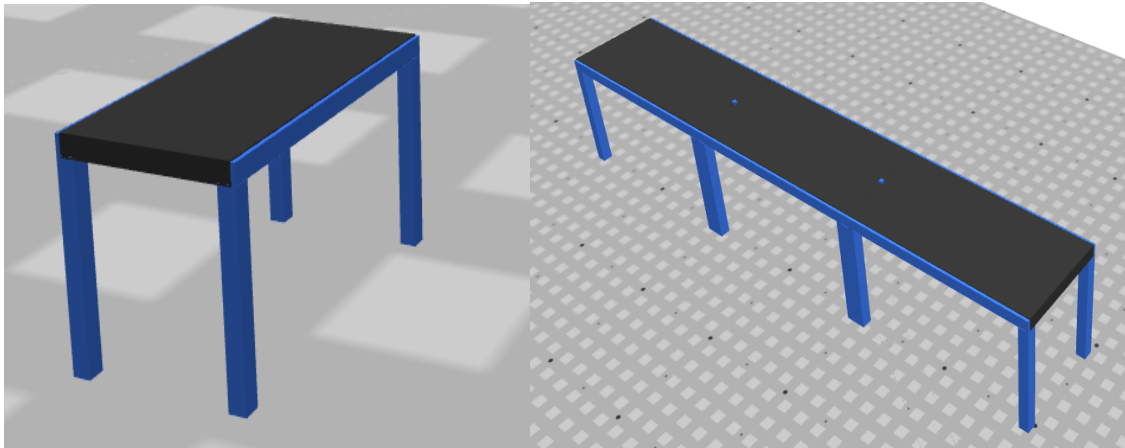


Figura 29: Elemento "Conveyor"

4.1.7 Buffer

Un *Buffer* all'interno di una linea produttiva rappresenta un elemento di transito; lo scopo del suo utilizzo dal punto di vista della produzione è descritto nel *Paragrafo 1.2.2.1.2*.

In un software di simulazione, come ad esempio **Tecnomatix Plant Simulation**, si utilizza un buffer interposto tra due componenti dell'impianto per trattenere temporaneamente i pezzi, se uno dei componenti che lo seguono nella sequenza delle stazioni si guasta, (impedendo alle macchine precedenti di smettere di produrre pezzi), oppure per spostare le parti, quando i componenti precedenti smettono di funzionare, impedendo l'arresto del processo di produzione.

Il dimensionamento di un buffer con una capacità sufficiente a coprire tutti i guasti porta a un completo disaccoppiamento dei rispettivi componenti dell'impianto. Il buffer non solo tiene d'occhio i tempi di guasto, ma funge anche da stazione di compensazione per le instabilità legate ai tempi di trasporto e di funzionamento, che portano alla formazione di code davanti a una macchina o a un componente. Ogni unità rimane all'interno del buffer almeno per un tempo minimo, che è stato inserito come tempo di permanenza. È poi possibile selezionare la sequenza con cui le parti escono dal buffer:

- Logica FIFO (*Paragrafo 2.4.1.7*): coda per fare in modo che le parti escano dal buffer nello stesso ordine in cui sono entrate;
- Logica LIFO: impilare per fare in modo che la parte che è entrata per ultima lasci il buffer per primo. [14;15]

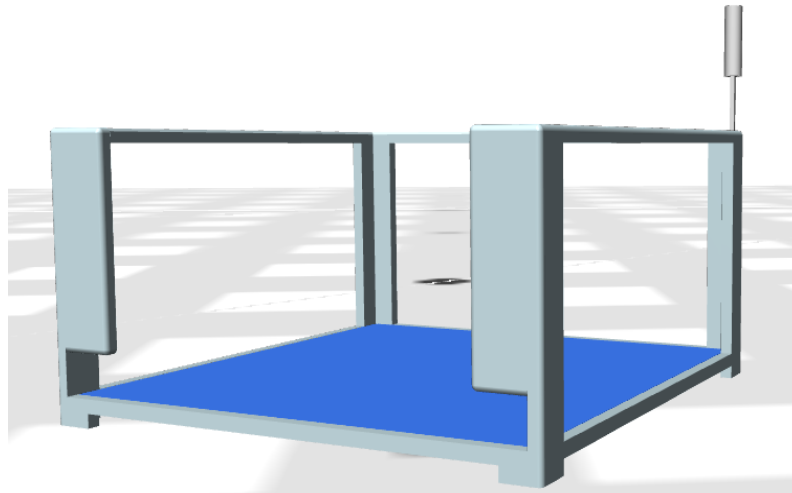


Figura 30: Elemento "Buffer"

4.1.8 Store

Lo *Store* può essere pensato come un deposito che memorizza qualsiasi numero di unità definito. Esse rimangono nello store fino a quando non vengono rimosse, ad esempio tramite l'utilizzo di un metodo. In genere si utilizza lo Store per modellare magazzini e altre strutture di stoccaggio nello stabilimento. Il numero di posizioni di memorizzazione disponibili viene definita in una rete di coordinate, indicando la dimensione x, la dimensione y e la dimensione z del magazzino stesso. Ovviamente lo store riceve le unità di gestione purché sia disponibile dello spazio di archiviazione all'interno dell'area di deposito. Viene eseguito un controllo in ingresso, ovvero un metodo, che determina la strategia di flusso di materiale (la logica) con cui inserire le unità nel magazzino ed anche il preciso luogo di stoccaggio in cui il pezzo deve essere posizionato. Se però, non si definisce un controllo in ingresso, il pezzo viene posizionato sulla prima postazione libera all'interno del magazzino. Lo *Store* non dispone di un tempo di configurazione, di elaborazione e di controllo dell'uscita. Se si stanno movimentando diversi tipi di parti lo store è in grado di controllare il livello di riempimento per ogni tipo di parte.

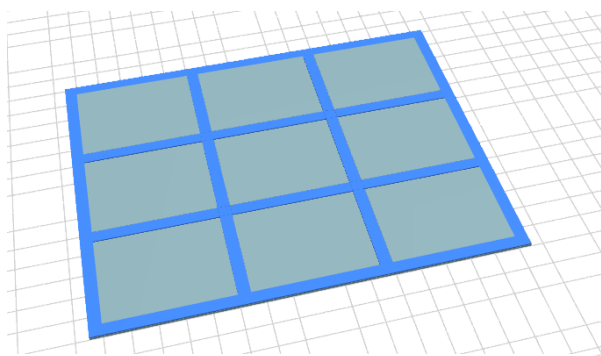


Figura 31: Elemento "Store"

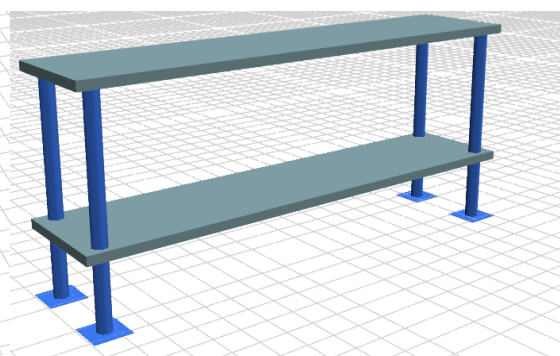


Figura 32: Elemento "Magazzino"

Come per le entità, anche per lo *Store* è possibile modificare le varie caratteristiche, selezionando in questo caso le diverse configurazioni, stabilendo la capacità, le dimensioni o il numero di scaffalature, modificando la scheda “*Appearance*” del 3D. [14,15]

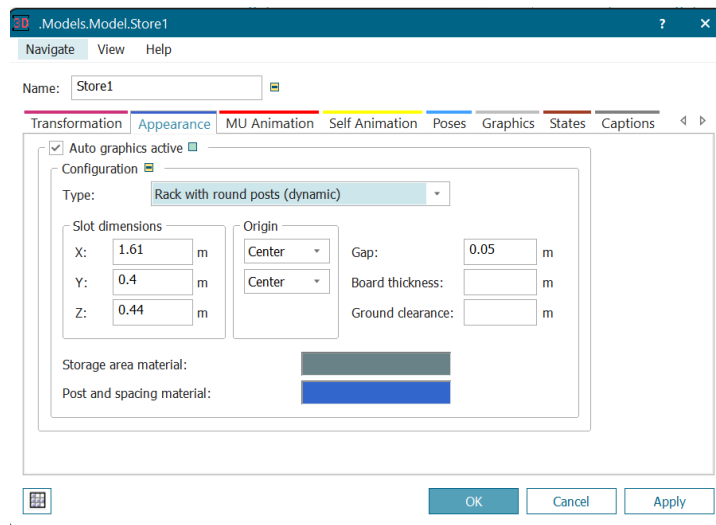


Figura 33: Dettaglio finestra di dialogo dell'elemento “Store”

4.1.9 Assembly Station

L'*Assembly Station* viene utilizzato principalmente per modellare i processi di assemblaggio, cioè aggiunge parti di montaggio a una parte principale, ad esempio porte e parafranghi alla carrozzeria di un'auto. In sostanza, sposta oppure elimina parti nell'entità principale, in base al valore inserito nella tabella di assemblaggio; inoltre, è possibile assegnare l'ordine in cui Assembly Station richiede parti e servizi di montaggio. [14,15]

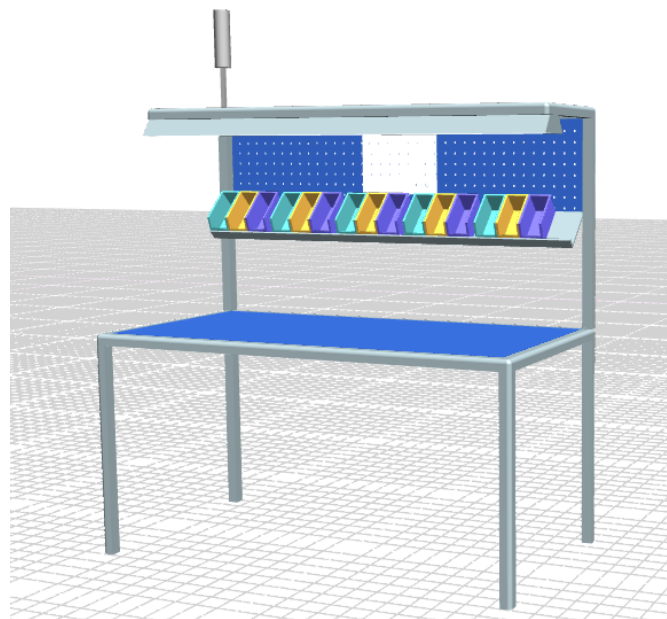


Figura 34: Elemento “Assembly Station”

4.1.10 Worker

Il *Worker* (lavoratore) indica una persona che viene impiegata su un luogo di lavoro collegato ad una macchina e tiene conto dei tempi di transito per la distanza percorsa. Perché il *Worker* possa svolgere il suo compito, è necessario attivare altri elementi: *WorkerPool* e *WorkPlaces* che rappresentano rispettivamente il luogo in cui sono presenti tutti i lavoratori ed il percorso che le risorse devono seguire per spostarsi. I *Worker* vengono creati nel *WorkerPool* e vi rimangono se non lavorano e sono in attesa di un ordine di lavoro. Di norma, si inseriscono i lavoratori che si desidera utilizzare nel modello di simulazione, in una tabella di creazione. È inoltre possibile trascinare un singolo *Worker* o un numero qualsiasi di *Worker* dalla libreria di classi sull'icona del *WorkerPool* e rilasciarli lì. Non appena si riceve richiesta per uno dei lavoratori e ce n'è uno che può fornire il servizio, esso viene inviato dal *WorkerPool* alla postazione di lavoro desiderata. È possibile selezionare la modalità di spostamento con cui il lavoratore raggiunge la sua postazione di lavoro all'interno della tabella che definisce le proprietà del *WorkerPool*.

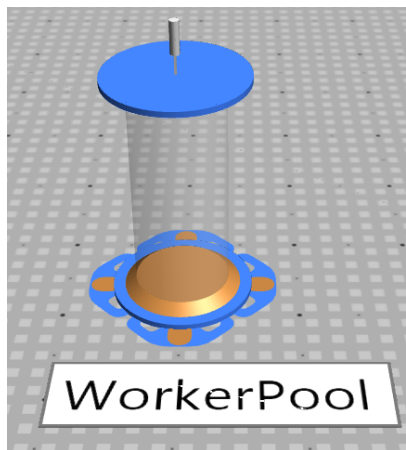


Figura 35: Elemento "WorkerPool"

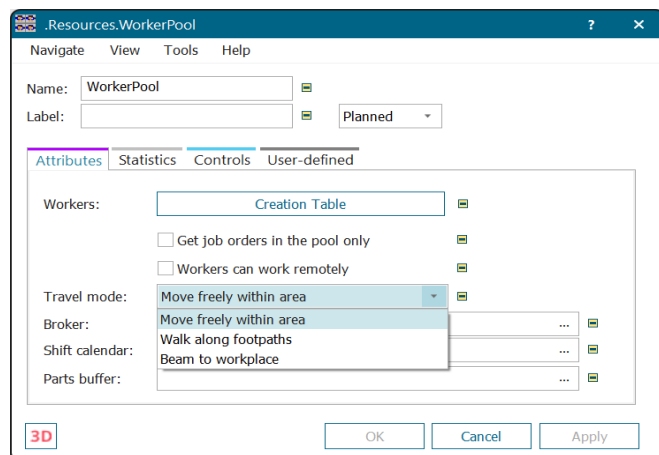


Figura 36: Dettaglio finestra di dialogo elemento "Worker"

Il *Worker* può:

- Muoversi liberamente all'interno dell'area: il lavoratore cammina liberamente all'interno dell'area del modello di simulazione e aggira gli ostacoli, ad esempio muri, pilastri, macchine, nastri trasportatori, recinzioni di sicurezza, ecc. Plant Simulation calcola automaticamente il percorso più breve tra il *WorkerPool* ed i *WorkPlaces*, e tra i vari *WorkPlaces*. In sintesi, se il lavoratore cammina liberamente all'interno dell'area del modello di simulazione, cammina sul percorso più breve per raggiungere il luogo di lavoro e aggira gli ostacoli designati.



Figura 37: Elemento "WorkerPlaces"

- Camminare lungo un percorso definito: il lavoratore cammina sui percorsi definiti (marciapiedi), inseriti tra le stazioni/luoghi di lavoro fino alla stazione in cui andrà a lavorare. Per modellare e simulare le distanze tra il *WorkerPool* e le stazioni di lavoro o tra le varie stazioni di lavoro, bisogna inserire i *FootPaths*. È possibile collegare diversi percorsi pedonali con connettori per creare una rete di percorsi pedonali. Il tempo impiegato dal lavoratore per camminare dal suo *WorkerPool* al luogo di lavoro, dipende dalla sua velocità e dalla distanza combinata dei percorsi che percorre per raggiungere la sua destinazione.
- Teletrasportarsi sul posto di lavoro: il lavoratore viene teletrasportato al luogo di lavoro in cui è stato designato e nel quale lavorerà immediatamente.

Al lavoratore possono essere date differenti mansioni fra cui caricare, scaricare, trasportare, prendere. È inoltre possibile impostare il tempo di carico ed il tempo di scarico di cui il lavoratore ha bisogno per caricare e scaricare manualmente la stazione nella postazione di lavoro annessa alla stazione. [14,15]

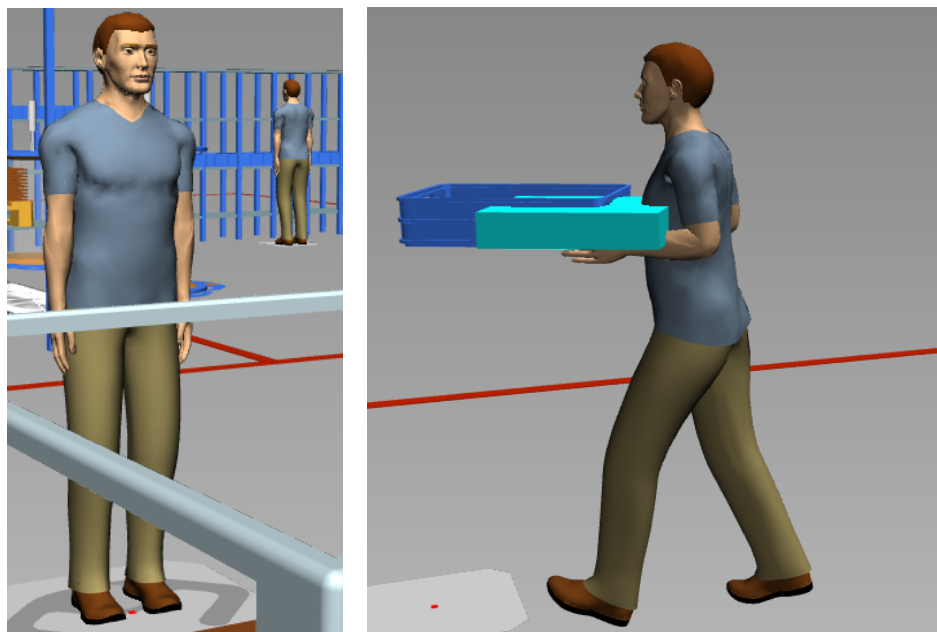


Figura 38: Elemento "Worker"

4.1.11 AGV

L'*AGVPool* crea veicoli a guida automatica (*AGV*), esattamente come la *WorkerPool* fa per gli operatori (*Paragrafo 4.1.10*). È quindi possibile modellare sistemi *AGV* nell'impianto, in cui essi non sono vincolati a una rete di percorsi in modo permanente. Ciò è particolarmente utile quando è necessario produrre lotti di piccole dimensioni, ma con un elevato mix di varianti su una singola linea di produzione. Al posto delle linee di produzione fisse, è possibile utilizzare gli *AGV* per trasportare i prodotti carichi attraverso un'installazione strutturata modulare. Gli *AGV* possono, a seconda della situazione, creare e modificare le piste virtuali su cui guidano. [14,15]

4.1.12 Pallet

Il *Pallet* viene modellato utilizzando come elemento il “contenitore”. E’ necessario definire la capacità dello spazio di carico lungo gli assi x ed y che si riferisce solo al numero di MU, e non alla loro dimensione fisica. Durante l'esecuzione di una simulazione, Plant Simulation sposta il contenitore da un oggetto di flusso di materiale all'altro lungo i connettori inseriti. [14,15]

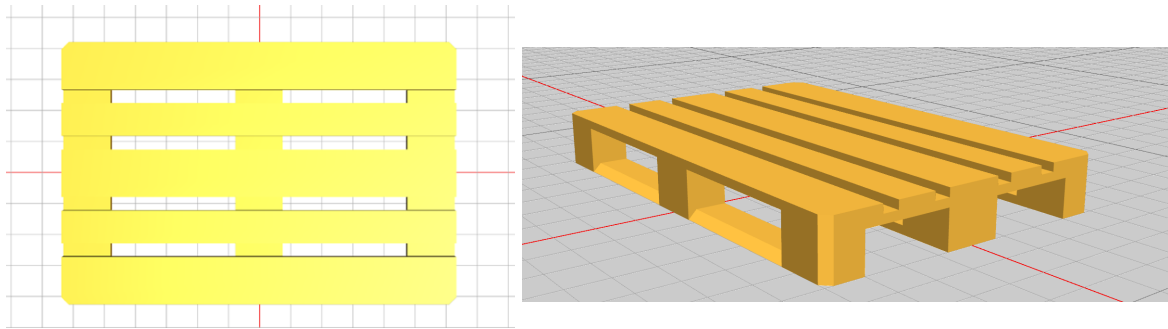


Figura 39: Elemento "Pallet"

5. Caso studio *Fashion*

Entrando nel vivo del lavoro svolto nell'ambito di questo progetto di tesi magistrale, si analizza nel seguente capitolo il caso studio "*Fashion*". Esso si riferisce in maniera del tutto generica ad una linea produttiva che tratta materiale in pelle per ottenere borse ed altri articoli. Si tratta dunque di una demo.

5.1 Analisi dei flussi dell'attuale processo produttivo

Il punto di partenza per l'ottimizzazione del processo produttivo è sicuramente rappresentato dallo studio dell'attuale flusso, necessario per poter procedere con un'attenta analisi utile all'individuazione delle criticità ed alla valutazione delle azioni future.

Immaginando che il prodotto finale della linea siano delle borse in pelle, il flusso produttivo da seguire si compone di diverse fasi, riassunte schematicamente nella seguente figura:



Figura 40: Flusso produttivo dell'attuale processo

5.1.1 Preparazione della pelle

La pelle degli animali, dopo la loro uccisione e prima della lavorazione, deve essere immagazzinata per tempi variabili e quindi è necessario ricorrere a particolari precauzioni allo scopo di impedire i processi di putrefazione. Per tale motivo, essa viene pretrattata dunque sottoposta a trattamenti disinfettanti e conservanti. I primi sono rivolti contro gli eventuali germi patogeni, mentre i secondi hanno lo scopo di impedire la putrefazione durante il periodo che segue la macellazione, consentendo così il trasporto (anche a grande distanza) e l'immagazzinamento per periodi di tempo prolungati.

Un'ulteriore fase preparativa alla lavorazione consiste nello stoccaggio delle pelli e dei prodotti chimici che saranno destinati alla lavorazione. Un operatore carica manualmente la pezza della pelle su una macchina scanner in modo da poterla controllare. La forma della pelle viene digitalizzata in modo tale che l'operatore possa marcare i difetti con un gessetto che viene rilevato dalla macchina scanner.

Le pelli grezze possono poi essere stoccate all'aperto o al chiuso; in alcuni casi l'immagazzinamento avviene in locali refrigerati. I prodotti chimici allo stato solido (polvere, granuli) contenuti in sacchi, sono anch'essi variamente stoccati all'aperto o al chiuso, mentre quelli allo stato liquido vengono stoccati in serbatoi interrati o fuori terra. Talvolta, in questa fase la pelle segue un vero e proprio ciclo tecnologico in quanto, a seconda del tipo di pelle da cui si parte e del risultato finale che si vuole ottenere, è possibile eseguire dei processi di decalcinazione, sgrassatura, macerazione oppure delle lavorazioni meccaniche intermedie come essiccamento, smerigliatura o tintura.

In ogni caso, gli impianti che nel caso più generale vengono utilizzati sono quelli di stoccaggio (celle frigorifere climatizzate per la conservazione ottimale delle pelli grezze, suddivise per tipologia e provenienza) e quelli di spianatura (macchine spianatrici automatiche con controllo computerizzato dello spessore per garantire uniformità e ottimizzare il consumo di pellame). [16,17]

5.1.2 Taglio della pelle

Una volta preparata la pelle, si procede con il taglio: una delle fasi più difficili della lavorazione delle borse in pelle. È infatti importante avere una mano ferma e molto esperta per ottenere un risultato finale di eccellenza. Il taglio delle varie parti sui pellami solitamente viene fatto a mano e a trancia, ma spesso nel caso di grandi produzioni viene eseguito in modo automatico. In quest'ultimo caso si tratta ovviamente di prodotti da riprodurre in grandi quantità. In generale, ogni borsa è composta da numerosi pezzi di pelle di forme e dimensioni diverse (in alcuni casi si parla anche di circa cento pezzi). Per ottenere ciò, la pelle viene tagliata mediante una macchina fustellatrice.

Gli impianti utilizzati in questa fase sono: macchina selezionatrice che viene impiegata per individuare e scartare eventuali difetti della pelle; taglierina automatica a CNC per un taglio preciso e ottimizzato della pelle minimizzando gli scarti. [16,17]

5.1.3 Preparazione dei componenti

La pelle tagliata è pronta per essere lavorata ed è dunque necessario procedere con la preparazione dei componenti da assemblare per la creazione delle borse. Si hanno dunque:

pelli principali (esterne ed interne), fodera, guarnizioni, manici e tracolle, fibbie, cerniere ed altri accessori metallici.

Oltretutto è necessario procedere anche con ulteriori lavorazioni; segue infatti la fase della spaccatura, operazione che consiste nell'abbassare gli spessori della pelle, rendendola più sottile ed eliminando il prodotto in eccesso. Non tutti i pellami hanno lo stesso spessore e per questo motivo il passaggio della spaccatura deve essere eseguito con molta attenzione. Infine, lo spessore di ogni singolo pezzo viene deciso in base al tipo di borsa che si sta producendo, regolandone la rigidità o la morbidezza.

La seconda lavorazione che viene fatta in questo momento è la scarnitura, con la quale i bordi vengono ulteriormente ridotti di spessore al fine di facilitare il processo di lavorazione del prodotto. Prima che tutti i pezzi vengano incollati o cuciti tra loro, vengono smussati e si eliminano le impurità dalla superficie dei vari pezzi di pelle con l'ausilio di una macchina scarnatrice.

Gli impianti utilizzati sono in sintesi: macchina per “*Skiving*” (per assottigliare i bordi della pelle, in modo da ottenere una finitura più liscia ed uniforme) e macchina per forare (per creare i fori per le cuciture e gli accessori). [16,17]

5.1.4 Assemblaggio

L'assemblaggio rappresenta la fase conclusiva in cui si incollano e si uniscono tra loro i bordi dei vari pezzi della borsa, e si può effettuare su diverse tipologie di macchinari all'avanguardia; ma alcuni passaggi, a seconda del prodotto e di chi lo realizza, devono essere eseguiti a mano da personale specializzato avendo cura del prodotto per conferire valore all'artigianalità del prodotto. A seconda del tipo di oggetto, inoltre, possono seguire le operazioni di spazzolatura e lucidatura della pelle.

In particolare, la cucitura è un momento molto importante e delicato nella realizzazione di una borsa in quanto commettere un errore di cucitura sulla pelle, comprometterebbe la stessa rendendo il prodotto danneggiato irrimediabilmente. Le cuciture richiedono una cura meticolosa e molta attenzione e viene eseguita su parti già fissate mediante incollaggio interno.

Schematicamente, gli elementi utilizzati sono adesivi e sigillanti che servono per fissare i diversi componenti in modo sicuro e duraturo. I macchinari, invece, sono costituiti da: macchine da cucire industriali con le quali si uniscono le diverse parti della borsa con precisione e resistenza; presse e stampi per dare forma e fissare le componenti in pelle; robot collaborativi per assistere i lavoratori in compiti ripetitivi. [16,17]

5.1.5 Rifiniture e controllo qualità

Il prodotto viene rifinito nei dettagli prevalentemente a mano: la borsa viene esaminata con cura e perfezionata con l'aggiunta di tutti gli accessori e componenti metallici (montaggio di maniglie e cerniere), con la lucidatura e la tintura dei bordi, con la stampa a caldo di eventuali rigature e con l'affrancatura delle cuciture finali.

La fase finale consiste dunque nella chiusura e rifinitura del prodotto che viene effettuata da supervisori di qualità, i quali si accertano che il prodotto sia integro.

Anche in questo caso, il tipo di lavoro, il tessuto impiegato, le finiture ed i relativi tempi di lavoro, dipendono dalla tipologia dei manufatti.

Le operazioni eseguite sono quindi la lucidatura e la finitura che servono per rendere la pelle lucida, opaca o con altri effetti desiderati. Segue il controllo qualità che ha lo scopo di individuare e correggere eventuali difetti estetici o funzionali.

Gli impianti impiegati in questa fase sono le macchine per lucidare (per conferire brillantezza alla pelle) e le stazioni di controllo qualità con personale esperto e tecnologie di visione artificiale. [16,17]

5.1.6 Imballaggio e spedizione

La fase finale prevede la realizzazione dell'imballaggio: la borsa finita viene accuratamente riempita e avvolta in morbida carta velina ed accomodata in un sacchetto di tessuto per essere consegnata al cliente. I componenti utilizzati sono: etichette con informazioni sul prodotto e sul marchio, sacchetti e scatole per l'imballaggio, materiali di protezione per il trasporto. I processi prevedono in ordine l'applicazione di etichette, l'inserimento della borsa nella confezione, la sigillatura e chiusura della confezione e l'etichettatura per la spedizione. [16,17]

5.2 Modello AS-IS

Seguendo il flusso produttivo descritto nel paragrafo precedente, è stato simulato il modello AS-IS che riporta fedelmente il percorso seguito dal materiale mentre viene lavorato. La figura sottostante rappresenta lo schema del flusso di materiale tra i differenti magazzini e stazioni di lavoro:

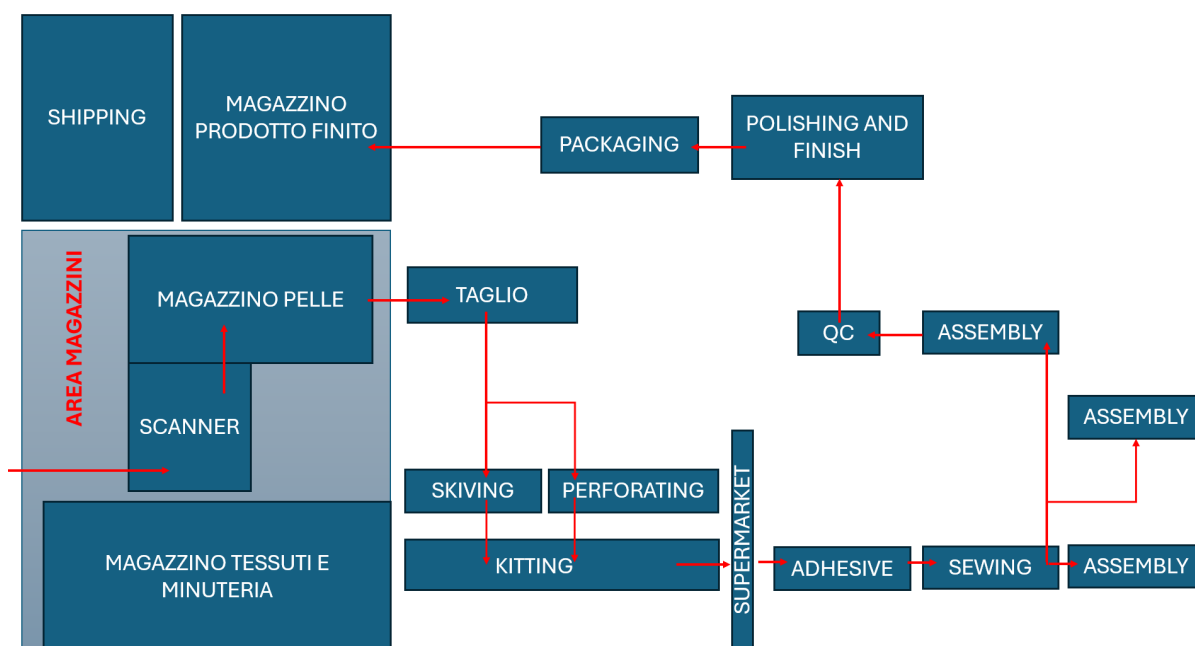


Figura 41: Schema del flusso di materiale

Di seguito si riporta il risultato del Plant ottenuto sul software di simulazione:

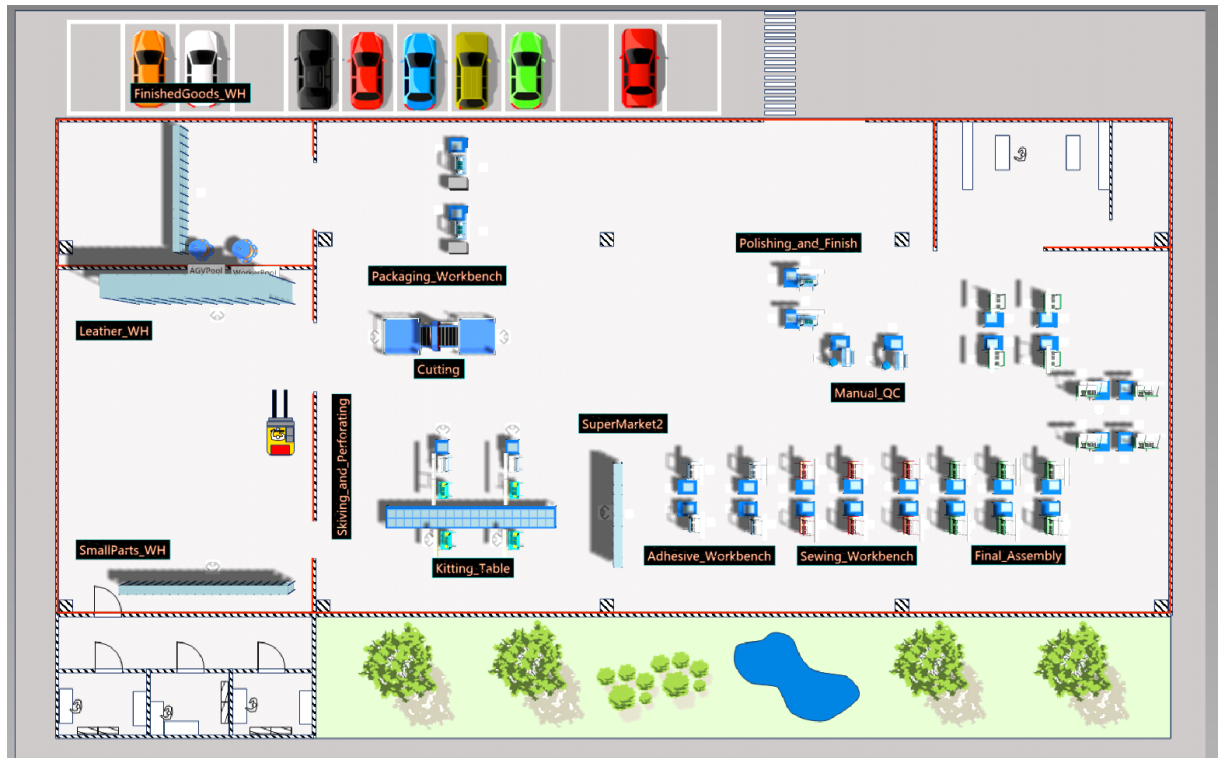


Figura 42: Vista dall'alto configurazione AS-IS



Figura 43: Configurazione AS-IS

5.2.1 Creazione del modello

5.2.1.1 Istruzioni iniziali

Innanzitutto va sottolineato che la simulazione è stata fatta considerando un singolo giorno ossia 8 ore lavorative, a partire dalle ore 6:00 del mattino. Perché si possa procedere con l'impostazione di tutte le logiche del sistema, è necessario creare dei metodi e delle tabelle

iniziali da cui prelevare i dati che contengano le informazioni circa i primi comandi da lanciare ad inizio simulazione e le quantità da produrre.

In particolare, si può osservare che è stata definita la *BOM* (“Bill Of Materials”), cioè la distinta base che definisce tutti gli elementi necessari per la realizzazione di un determinato prodotto:

PRODOTTO	COLORE	PELLE	PELLE TAGLIATA
A	8384	4	10

Tabella 1: BOM configurazione AS-IS

Si vede che per il prodotto A sono necessari quattro pezzi di pelle, ognuno dei quali deve essere tagliato in dieci parti.

Si definisce successivamente l’ordine da evadere, caratterizzato dal tipo e dalla quantità di prodotto:

NUMERO DI ORDINE	ORDINE	PRODOTTO	QUANTITÀ
1	1	A	200

Tabella 2: Ordini configurazione AS-IS

Il metodo iniziale più importante è l’*Init* in cui, in questo caso, vengono assegnati gli operatori alle postazioni di partenza in modo tale da essere già pronti nel momento in cui deve essere eseguita l’operazione. Si crea la giacenza, ossia si posizionano gli elementi della tabella sovrastante (*Tabella 2*) nelle celle frigo e nelle scaffalature: si creano i pezzi negli spazi dedicati.

```

var tab : table
var op : object
var tab2 : string

CreaGiacenza

root.workerpool.getAssignedWorkersTable(tab)
for var i := 1 to tab.ydim
  op := tab[1,i]
  tab2 := op.services[1]
  if tab2 = "Kitting"
    op.goto(root.Workplace8)
  elseif tab2 = "Kitting1"
    op.goto(root.Workplace6)
  end
next

for var i := 1 to root.agvpool.numassignedWorkers
  root.input.agv["AGV", i] := root.agvpool.getAssignedWorkersTable[i]
  root.input.agv["Disponibile", i] := true
next

```

Figura 44: Metodo "Init"

Una volta inseriti nel Plant direttamente dalla *ToolBox* tutti gli oggetti rappresentativi del flusso produttivo di cui necessita la simulazione (*Figura 41*), sono state implementate le

logiche di funzionamento tra i diversi elementi. Per poter procedere, però, sono stati definiti i tempi di lavorazione per ciascuna stazione, di seguito riportati:

STAZIONE	TEMPO[MINUTI]
CUTTING (TAGLIO)	7:30
SKIVING (SPACCATURA – N.2)	45:00
PERFORATING (FORATURA - N.2)	45:00
KITTING (APPOSIZIONE ACCESSORI - N.2)	1:30
SEAL (CHIUSURA – N.4)	8:34.29
SEWING 1 (CUCITURA - N.6)	12:00
ASSEMBLY (ASSEMBLAGGIO – N.14)	30:00
QC (CONTROLLO QUALITÀ – N.2)	3:00
POLISHING (LUCIDATURA – N.2)	4:00
PACKAGING (IMBALLAGGIO – N.2)	3:00

Tabella 3: Tempi delle stazioni nella configurazione AS-IS

Tramite la tabella delle lavorazioni è stato definito il ciclo di lavorazione del prodotto, cioè il susseguirsi delle operazioni che devono essere eseguite. Allora per ciascuna fase, si definisce in quale stazione è destinata la parte per poter portare a termine l'operazione; ad esempio, per le prime lavorazioni l'oggetto deve andare in "Skiving" e "Perforating"; a queste due stazioni sono associati i relativi tempi in cui l'oggetto deve permanere perché venga simulato il tipo di lavorazione.

Allora, una delle più importanti azioni preliminari richieste è rappresentata dal prelievo della pelle: infatti, il numero di pezzi da lavorare (e dunque da prelevare) deve rispettare la quantità di ordini e la quantità di pelle richiesta per ciascun ordine. A partire dalla cella frigorifera, la pelle viene portata alla stazione di taglio se essa ha una disponibilità pari al numero di pelle richiesta e se l'operatore è disponibile per il trasporto. In caso contrario, non viene assegnata alcuna destinazione al pezzo. Accanto all'*Init*, un altro metodo di fondamentale importanza, è rappresentato dal "Reset" all'interno del quale si indicano le istruzioni per la fine della simulazione: al termine delle ore di lavoro previste, vengono eliminati gli elementi presenti in ogni stazione ed in ogni tabella, tramite il comando "Delete".

5.2.1.2 Cutting

Immaginando dunque che la pelle sia stata preparata e immagazzinata in un luogo dedicato, rappresentato nella simulazione dal magazzino della pelle ("*Leather WH*" in *Figura 42*), e che sia stata portata, come anticipato, nella zona di taglio (qui indicato con "Cutting", *Figura 45*) si procede con la prima fase del processo di realizzazione del prodotto (*Paragrafo 5.1.2*).

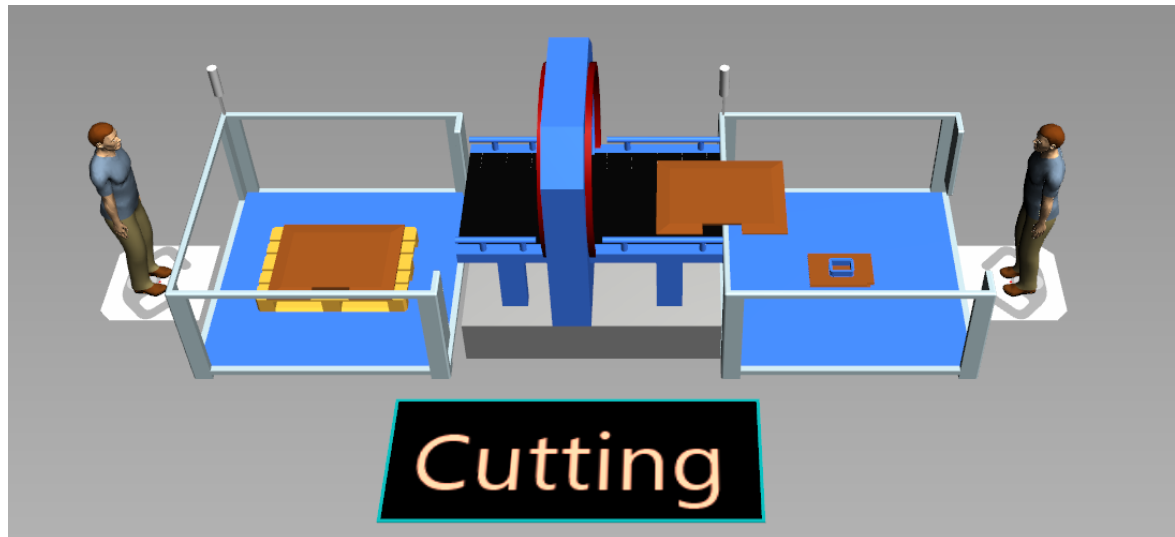


Figura 45: Stazione di taglio

La pelle viene dunque prelevata dal magazzino tramite l'ausilio di un *Worker* (Paragrafo 4.1.10) e portata in un *Buffer* (Paragrafo 4.1.7) che rappresenta l'ingresso nella stazione della fase di taglio e che ha capacità pari ad 8 (al suo interno possono essere inseriti fino ad otto tappeti di pelle in attesa di essere lavorati). Per poterlo fare, sono stati scritti dei metodi secondo cui l'oggetto viene preso in carico in ingresso dal *Buffer* se e solo se esso è libero. Quando infine sul pallet è presente soltanto l'ultimo tappeto di pelle, il *Worker* rientra nel magazzino per poter caricare altre pelli. L'oggetto dal *Buffer* passa all'interno della stazione (elemento centrale della Figura 45) che ha come metodo di input la variabile dei tempi (Tabella 3):

```
var tabtempi : object

tabtempi := root.input.Tempi
?.ProcTime := tabtempi["Tempo", ?.location]
```

Figura 46: Metodo "OnEntrance" fase di taglio

Il metodo di output, invece, contiene le informazioni per l'esecuzione della lavorazione che prende come dato il numero di pezzi in cui tagliare la pelle. In ultimo, il *Buffer* in uscita (di capacità infinita) contiene i comandi per poter individuare quale stazione della successiva lavorazione ("Skiving") è più scarica in modo tale che un *Worker* libero possa prelevare le pelli.

```

var plt, pelledaprelevare, pezzo : object
var numordine : integer
var check : boolean
var ordini, bom, appoggio, op : object
var PF : string
var numpezzi, qtaplt : integer
var tab : table

waituntil root.Taglio.nummu = 0

plt := @
numordine := @.ordine
pezzo := @.cont
pezzo.pf := plt.pf
pezzo.ordine := to_str(numordine)
pezzo.move(root.taglio)
check := true
pelledaprelevare := root.input.pelledaPrelevare

if plt.nummu = 1
  if pelledaprelevare["PezziDaTagliare", numordine] > 0
    plt := root.CelleFrigo.cont
    pelledaprelevare := root.input.PelledaPrelevare
    ordini := root.input.ordini

    qtaplt := plt.nummu
    plt.destination := root.TaglioIN
    plt.move

    waituntil root.Workplace7.nummu = 1
    op := root.workplace7.cont

    PF := ordini["Prodotto", numordine]
    plt.move(op)
    plt.ordine := numordine
    plt.pf := pf
    op.goto(root.Workplace13)
    pelledaprelevare["PezziDaTagliare", numordine] -= qtaplt

    waituntil root.workplace13.nummu = 1 and root.workplace13.cont = op
    op.cont.move(root.TaglioIN)
  end
elseif plt.nummu = 0
  plt.delete
  check := false
end

if check = true
  ?.OnExit
end

```

Figura 47: Metodo "Cutting"

5.2.1.3 Skiving, Perforating e Kitting

Come anticipato, nel metodo dell'*Init* che viene lanciato ad inizio simulazione, alcuni operatori vengono mandati in determinate postazioni rappresentate dal magazzino che contiene gli accessori (indicato nella simulazione con "*SmallParts_WH*") e dalle stazioni di preparazione dei componenti; così facendo, quando la parte giunge nelle stazioni di *Skiving*, *Perforating* e *Kitting*, si è già pronti per procedere con l'operazione, riducendo i tempi di non valore aggiunto (come appunto quelli di trasporto). La fase di preparazione dei componenti (*Paragrafo 5.1.3*) viene in **Plant Simulation** così schematizzata:

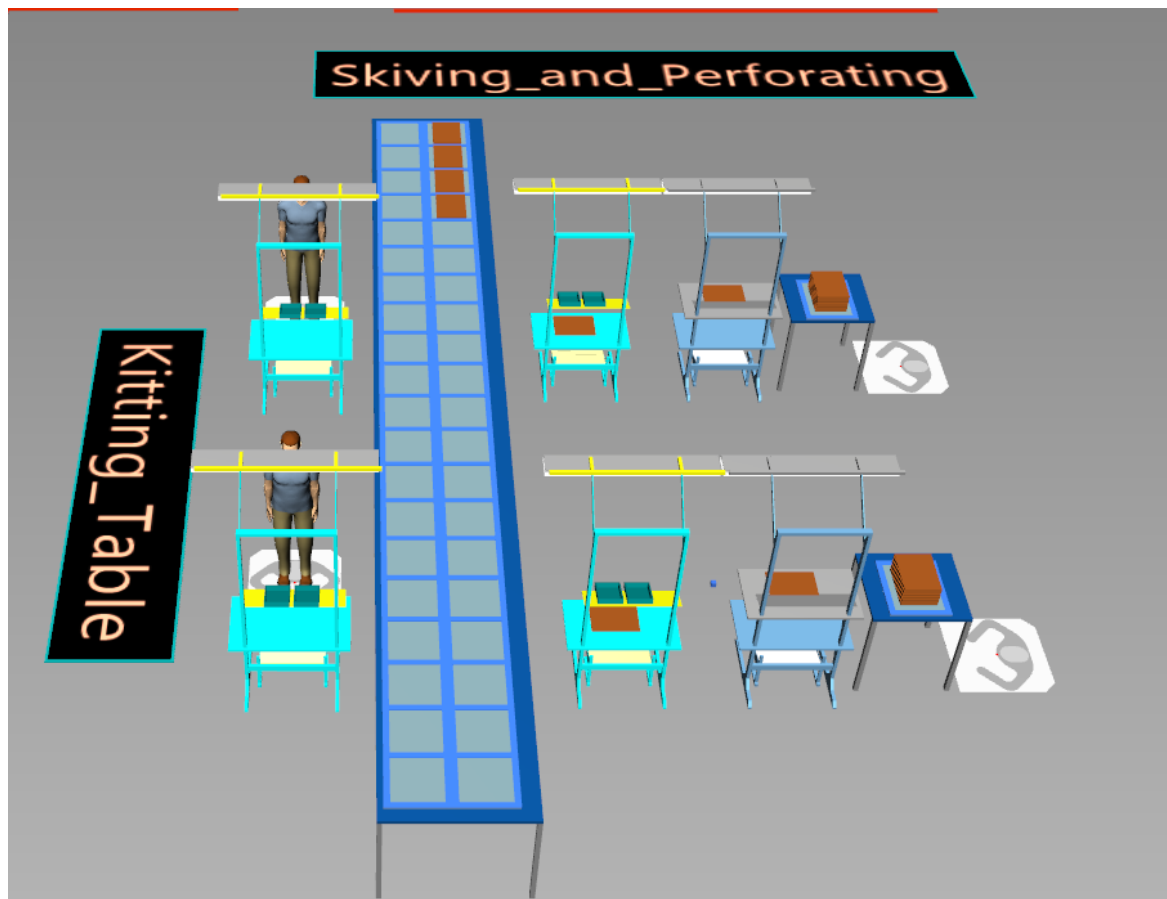


Figura 48: Stazioni di Spaccatura, Foratura e Preparazione componenti

Si nota dunque che vi sono due stazioni per ciascuna operazione. La pelle uscente dalla stazione di taglio passa dapprima in una delle stazioni di “*Skiving*”; la scelta è data da quale delle due risulta vuota. In entrata alla stazione di lavoro, si ha il comando relativo al tempo di permanenza sulla macchina (*Tabella 3*) rappresentato in *Figura 46*.

In uscita invece si indica, trascorso tale tempo, la destinazione successiva rappresentata dalla stazione di foratura (“*Perforating*”). Anche per quest’ultima, si indica il tempo (*Tabella 3*) trascorso il quale la pelle viene spostata sulla linea, in cui sono presenti degli elementi di tipo *Store* (*Figura 48*).

All’interno degli *Store*, i singoli elementi attendono finché non viene raggiunto il numero esatto di pezzi di pelle che compongono il prodotto, cioè il numero di pezzi di pelle tagliata necessari alla composizione del prodotto (“*Kit*”, in questo caso pari a 5 elementi). Quando il numero è raggiunto, le parti vengono prelevate e portate alla stazione di “*Kitting*” dove vengono apposti tutti i componenti accessori preparati in precedenza. Il metodo utilizzato è il medesimo delle stazioni precedenti.

A valle dell’operazione di preparazione dei componenti, i prodotti vengono stoccati in un *Supermarket*. Esso rappresenta un magazzino di disaccoppiamento nel quale i componenti sono gestiti secondo la logica pull, basata sul ripristino della scorta dopo il consumo, in funzione della capacità produttiva disponibile a monte e dei tempi globali necessari a riportare il materiale consumato. La progettazione del supermarket deve tenere conto delle esigenze di efficiente movimentazione dei materiali. Il metodo di gestione dell’inventario è

tale per cui una variazione di parti può essere conservata senza sapere in quale ordine le parti verranno prelevate.

5.2.1.4 Assembly

Il comando in uscita del *Supermarket* è tale per cui, tramite l'utilizzo di un ciclo iterativo di tipo for, una risorsa dedicata trasferisce il prodotto appena stoccato, dal magazzino alla prima stazione di assemblaggio. Ovviamente, ciò accade se e solo se la postazione di lavoro è libera. In caso contrario, sarà necessario aspettare del tempo per poi far ripartire il controllo. Come si può osservare anche dalla *Figura 49*, la zona di assemblaggio è suddivisa in differenti stazioni:



Figura 49: Stazioni di assemblaggio, QC e Lucidatura

Le diverse aree di assemblaggio sono composte da batterie di banchi collegati da diversi sistemi di movimentazione (rulliere). Schematicamente:

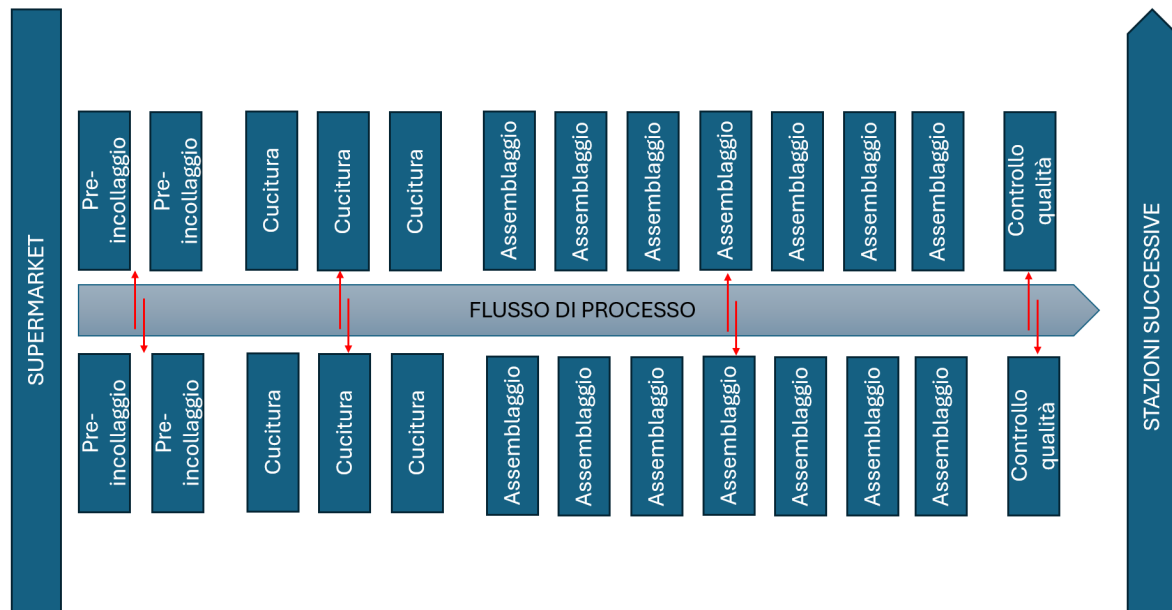


Figura 50: Schema delle aree di assemblaggio

Per quanto riguarda i metodi assegnati alle differenti stazioni, si vede che per ognuna di esse (pre-incollaggio, cucitura, assemblaggio finale) la logica di funzionamento è la stessa: si definiscono delle variabili che prendono come dati di input i tempi di permanenza descritti nella *Tabella 3* (*Figura 46*).

Nei metodi in uscita sia dalla stazione di pre-incollaggio che di cucitura, si inserisce un ciclo iterativo di tipo for tramite il quale far permanere il pezzo sulla linea fin tanto che un operatore, trascorso il tempo di lavorazione, lo porterà sulla stazione successiva se questa è libera. In particolare, si nota però che man mano che si procede dalla stazione di pre-incollaggio a quella di assemblaggio finale, il numero di pezzi da lavorare diminuisce. Infatti, se ad esempio, per il prodotto A dal *Supermarket* alla linea di pre-incollaggio si hanno cinque pezzi in ingresso, essendo questi appunto incollati, in uscita si ridurranno a quattro. Successivamente, in ingresso alla stazione di cucitura, i quattro elementi entranti, si ridurranno a tre.

<pre> var sewlist, dest, stazione : object var liberi : boolean sewlist := root.input.sewconv liberi := false repeat for var i := 1 to sewlist.ydim if sewlist["Sew", i].sewing.libero = true dest := sewlist["IN", i] stazione := sewlist["Sew", i].sewing liberi := true exitloop end next if liberi = false wait 240 end until liberi if liberi = false debug end stazione.libero := false ?.libero := true @.destination := dest @.move </pre>	<pre> var asslist, dest, stazione : object var liberi : boolean asslist := root.input.assconv liberi := false repeat for var i := 1 to asslist.ydim if asslist["Assembly", i].Assembly.libero = true dest := asslist["IN", i] stazione := asslist["Assembly", i].Assembly liberi := true exitloop end next if liberi = false wait 240 end until liberi if liberi = false debug end stazione.libero := false ?.libero := true @.destination := dest @.move </pre>
--	--

Figura 51, Figura 52: Metodo nelle stazioni di fasi di pre-incollaggio e cucitura

E' stato assegnato un metodo anche agli elementi di tipo *Store* delle stazioni di pre-incollaggio e cucitura, in modo da definire la destinazione successiva del pezzo lavorato:

<pre> var bomseal, wip, sealconv, dest, conv, stazione : object var numpezzi, i : integer var pf, tipo : string bomseal := root.input.bomseal sealconv := root.input.sealConv pf := @.cont.pf for i := 1 to sealconv.ydim if sealconv["IN", i] = ? stazione := sealconv["Seal", i].seal exitloop end next @.move(stazione) </pre>	<pre> var bomseal, wip, sewconv, dest, conv, stazione : object var numpezzi, i : integer var pf, tipo : string bomseal := root.input.bomseal sewconv := root.input.sewConv pf := @.cont.pf for i := 1 to sewconv.ydim if sewconv["IN", i] = ? stazione := sewconv["Sew", i].sewing exitloop end next @.move(stazione) </pre>
---	--

Figura 53, Figura 54: Metodi "Store" fasi di pre-incollaggio e cucitura

Le stazioni di assemblaggio finale, esattamente come le altre stazioni, hanno in entrata il metodo che definisce il tempo di produzione (Tabella 3) (Figura 46):

Il metodo in uscita e quello assegnato allo *Store* della stazione, sono analoghi a quelli visti in precedenza:

```

var QClist, dest, stazione : object
var liberi : boolean

QClist := root.input.QCconv
liberi := false

repeat
  for var i := 1 to QClist.ydim
    if QClist["QC", i].QC.libero = true
      dest := QClist["IN", i]
      stazione := QClist["QC", i].QC
      liberi := true
      exitloop
    end
  next
  if liberi = false
    wait 240
  end
until liberi

if liberi = false
  debug
end

stazione.libero := false
?.libero := true
@.destination := dest
@.move

var bomseal, wip, assconv, dest, conv, stazione : object
var numpezzi, i : integer
var pf, tipo : string

bomseal := root.input.bomseal
assconv := root.input.assconv
pf := @.cont.pf

for i := 1 to assconv.ydim
  if assconv["IN", i] = ?
    stazione := assconv["Assembly", i].assembly
    exitloop
  end
next
@.move(stazione)

```

Figura 55, Figura 56: Metodi "OnExit" e Store fase di Assemblaggio finale

5.2.1.5 Quality Control

La stazione del *QC* ("Quality Control") ha funzionamento analogo ai precedenti (basato sui tempi di permanenza nella stazione), ma con una differenza: in uscita dalla stazione, nel caso in cui il pezzo non sia conforme (si definisce una certa percentuale di elementi ritenuti non adeguati), si fornisce il comando tramite cui viene riportato alla stazione di assemblaggio per poter essere ridefinito secondo gli standard:

```

var dado, percentuale : integer
var qclist, asslist, dest, stazione : object
var liberi : boolean

qclist := root.input.qcconv
asslist := root.input.assconv

dado := z_uniform(1, 0, 100)
percentuale := qclist["PercentualeRework", ?.location]
liberi := false

if dado < percentuale
  repeat
    for var i := 1 to asslist.ydim
      if asslist["Assembly", i].Assembly.libero = true
        dest := asslist["IN", i]
        stazione := asslist["Assembly", i].Assembly
        liberi := true
        exitloop
      end
    next

    if liberi = false
      wait 240
    end
  until liberi

  if liberi = false
    debug
  end

else
  waituntil root.Polishing1.libero or root.Polishing2.libero

  if root.Polishing1.libero
    dest := root.Polishing1
    stazione := root.Polishing1
  else
    dest := root.Polishing2
    stazione := root.Polishing2
  end
end

stazione.libero := false
?.libero := true
@.destination := dest
@.move

```

Figura 57: Metodo "OnExit" fase di QC

5.2.1.6 Polishing e Finishing – Packaging

In ultimo, le stazioni di *Polishing*, *Finishing* e *Packaging*, che rappresentano rispettivamente le fasi di lucidatura, rifinitura ed imballaggio, possono essere analizzate parallelamente:

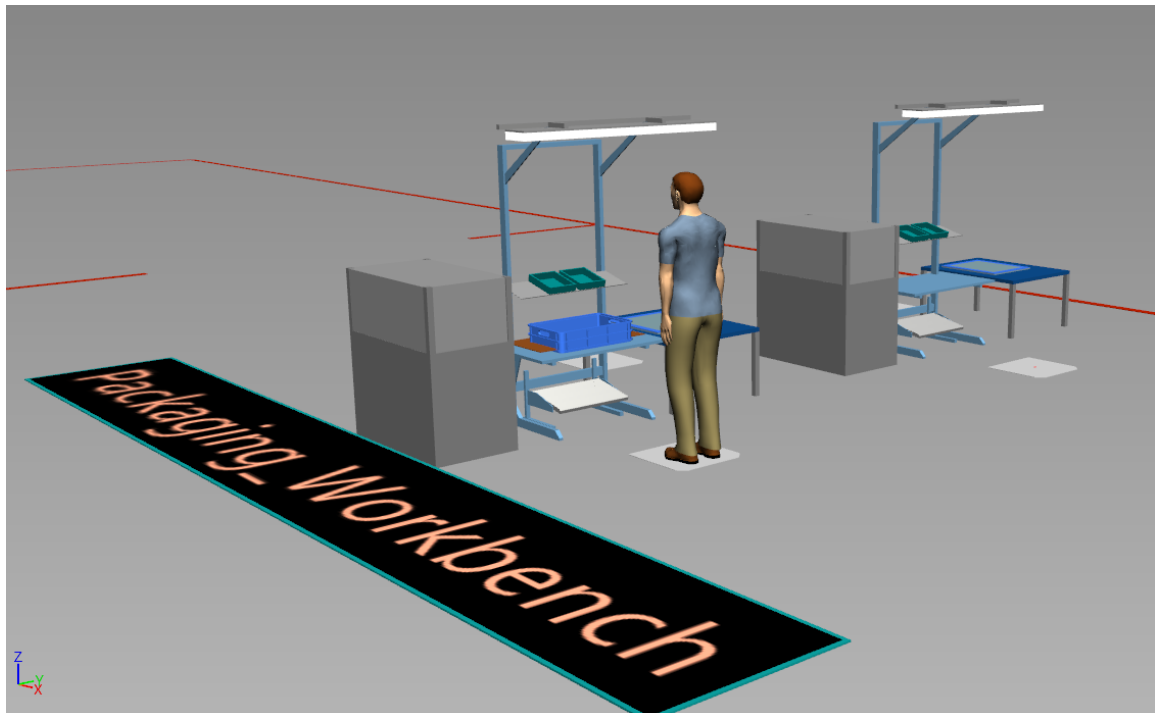


Figura 58: Stazione di Packaging

Per ognuna di esse, la logica utilizzata è la stessa: si definisce l'ingresso dei componenti, provenienti dalla stazione precedente ed il tempo di processo (Tabella 3). In uscita e negli elementi *Store*, il metodo indica la destinazione del prodotto lavorato che a valle del processo è rappresentata dal "Magazzino prodotti finiti":

```

if ? = root.Polishing1
  waituntil root.PoliOUT.nummu = 0
  @.move(root.PoliOUT)
  ?.libero := true
elseif ? = root.polishing2
  waituntil root.PoliOUT1.nummu = 0
  @.move(root.PoliOUT1)
  ?.libero := true
else
  debug
end

```

Figura 61: Metodo "OnExit" fase di lucidatura

```

var dest : object

waituntil root.Packaging1.libero or root.Packaging2.libero

if root.Packaging1.libero
  dest := root.Packaging1
  dest.libero := false
else
  dest := root.Packaging2
  dest.libero := false
end

@.destination := dest
--?.libero := true
@.move

```

Figura 59: Metodo "Store" fase di lucidatura

5.2.2 Analisi dei KPI

Come descritto nel *Paragrafo 3.1*, perché uno strumento di simulazione possa essere sfruttato in modo ottimale, è necessario disporre di risultati quantitativi su cui poter fare delle valutazioni (**KPI**).

In questo caso, il parametro considerato è rappresentato dalla saturazione della capacità produttiva di ciascuna stazione, in modo tale da valutare quanto il flusso può essere ancora eventualmente migliorato stressando il sistema. Il livello di saturazione di un singolo macchinario rappresenta la percentuale di utilizzo orario dello stesso, necessaria per soddisfare le prestazioni richieste. L'importanza di questo parametro si traduce nell'individuazione dei macchinari che rappresentano il collo di bottiglia cioè con le minori prestazioni o con il più elevato livello di saturazione. Il risultato si ottiene in termini di variazione di alcune stazioni della linea produttiva.

I dati percentuali relativi alla operatività della stazione, che descrivono ad esempio quanto la macchina lavora o quanto è in attesa del pezzo da lavorare, si leggono in output dalla finestra di dialogo che si apre cliccando sulla stazione di interesse.

Di seguito non sono state prese in considerazione le fasi di taglio, spaccatura, foratura e packaging, avendo queste al più due stazioni in utilizzo.

Per quanto riguarda tutte le stazioni di assemblaggio (pre-incollaggio, cucitura ed assemblaggio finale), si osservano dei macchinari con saturazione nulla cioè che sono in attesa del pezzo durante tutta la simulazione: la pelle non raggiunge mai le stazioni finali; ciò è riconducibile al fatto che il pezzo viene portato e lavorato nella prima stazione libera. Allora, le ultime stazioni non vengono mai raggiunte perché quelle iniziali si liberano in un tempo relativamente breve, tale da poter prendere in carico un nuovo pezzo. Si riportano di seguito i grafici:

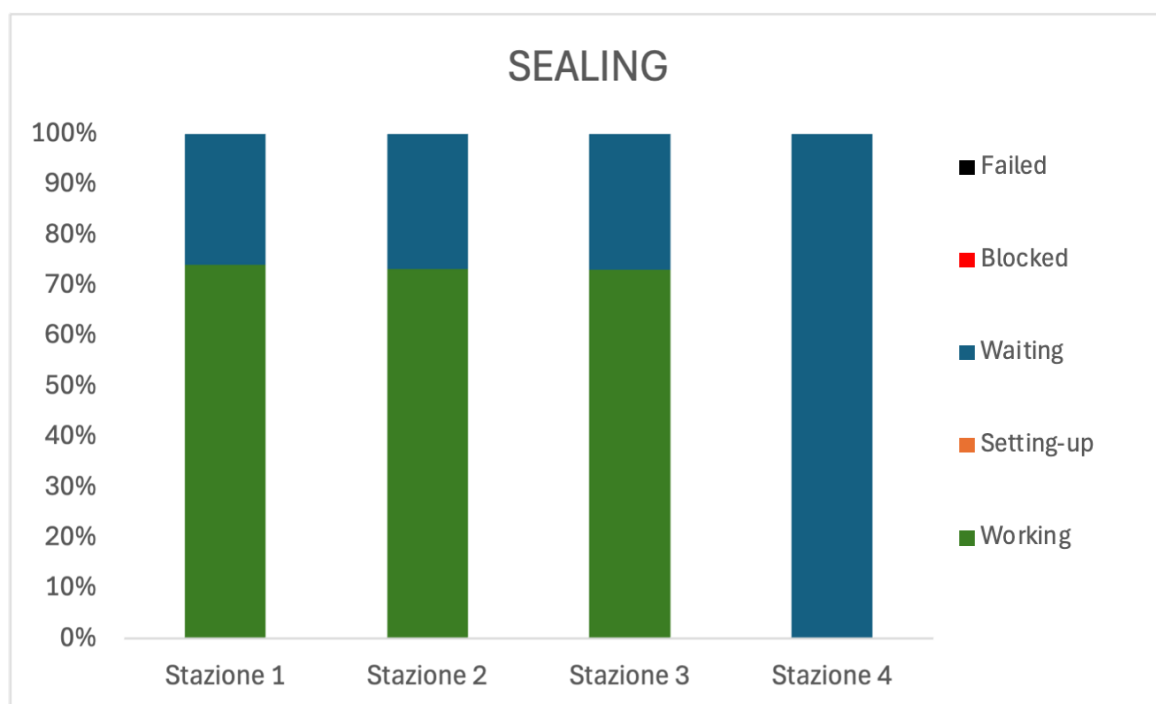


Figura 60: KPI AS-IS Saturazione delle stazioni di pre-Incollaggio

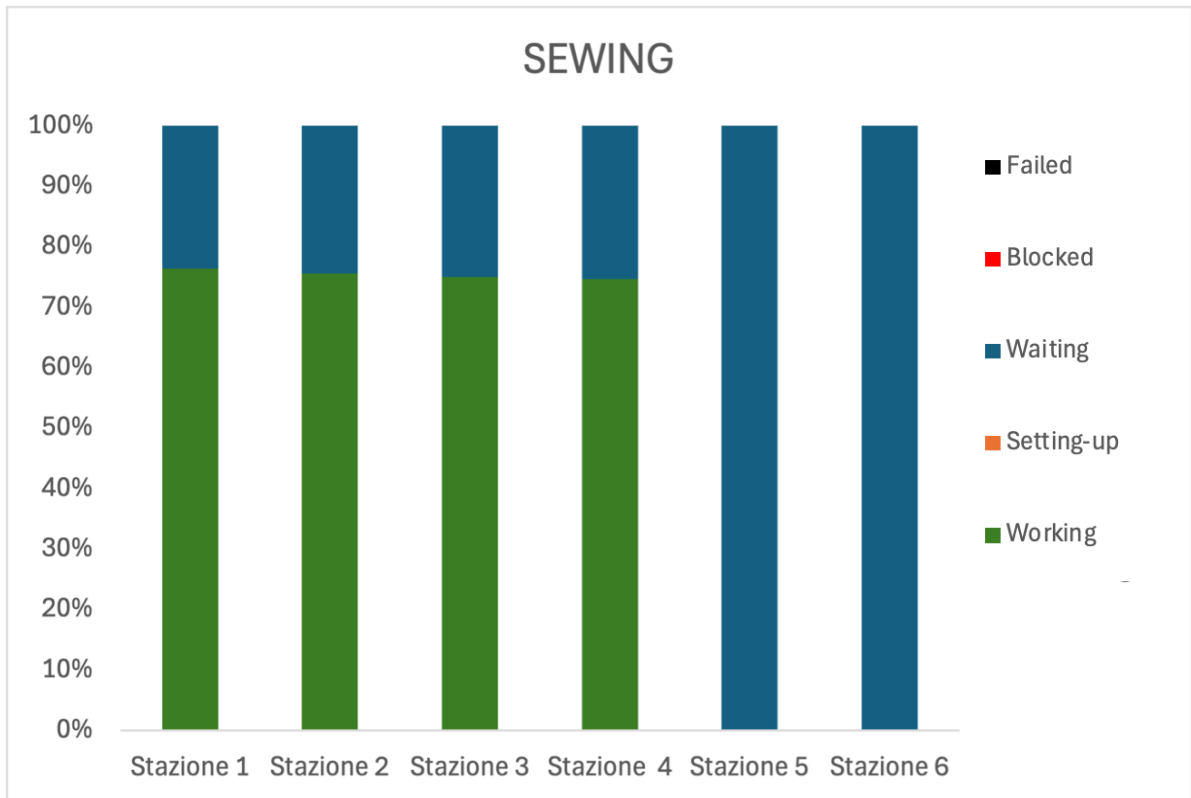


Figura 61: KPI AS-IS Saturazione delle stazioni di cucitura

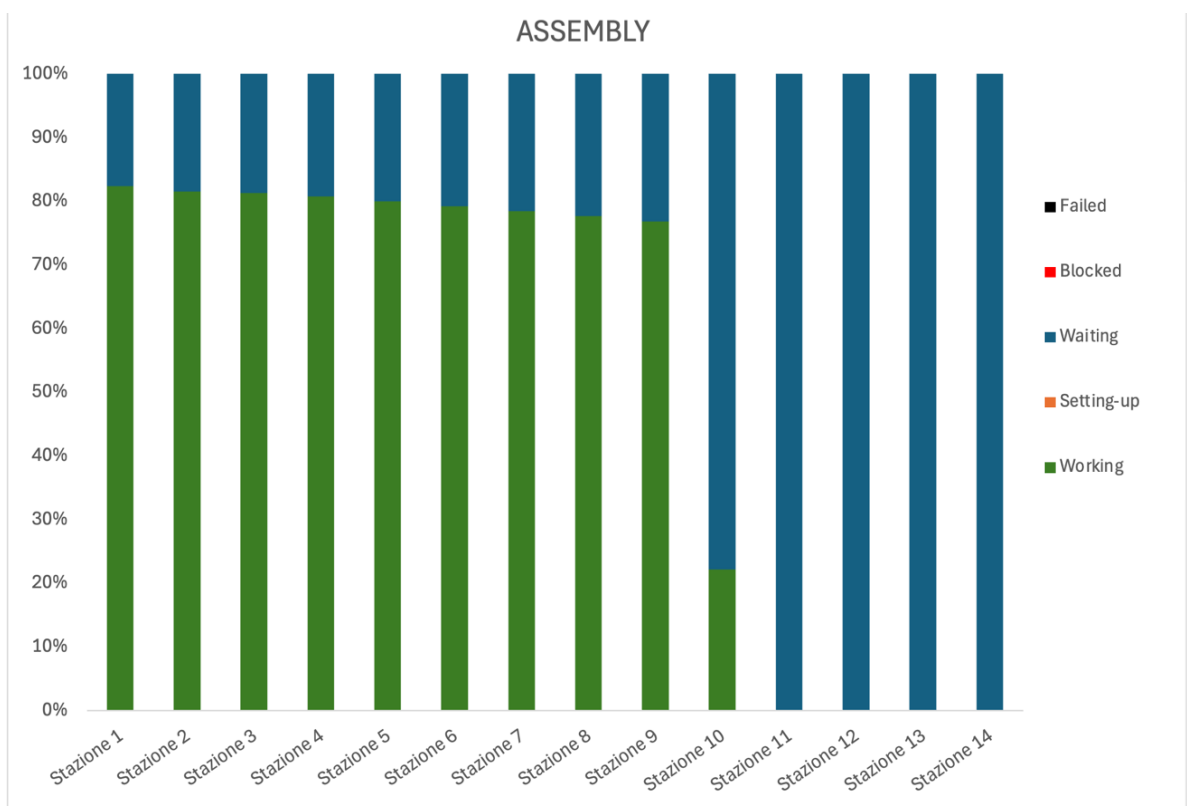


Figura 62: KPI AS-IS Saturazione delle stazioni di assemblaggio finale

Per le stazioni di controllo qualità e lucidatura, invece, si osserva che entrambi i macchinari sono in fase di lavorazione seppur con una saturazione differente. Ciò significa che i macchinari di cui si dispone possono essere sfruttati in modo più efficiente. Si riportano i grafici:

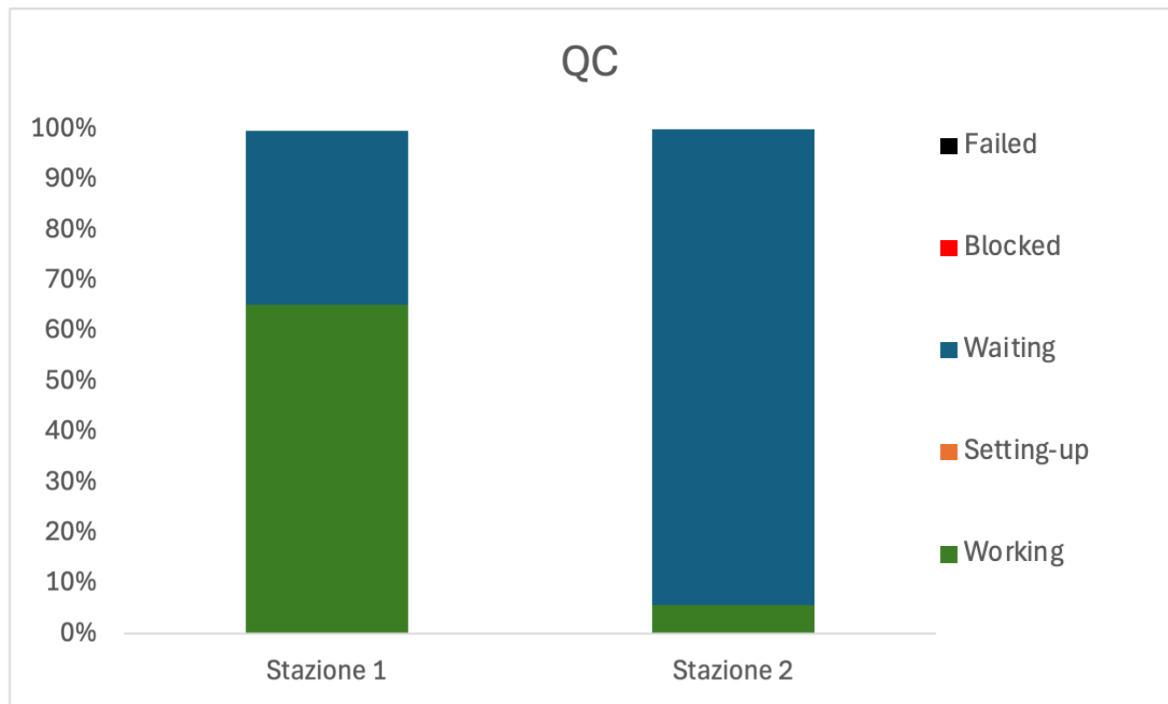


Figura 63: KPI AS-IS Saturazione delle stazioni di QC

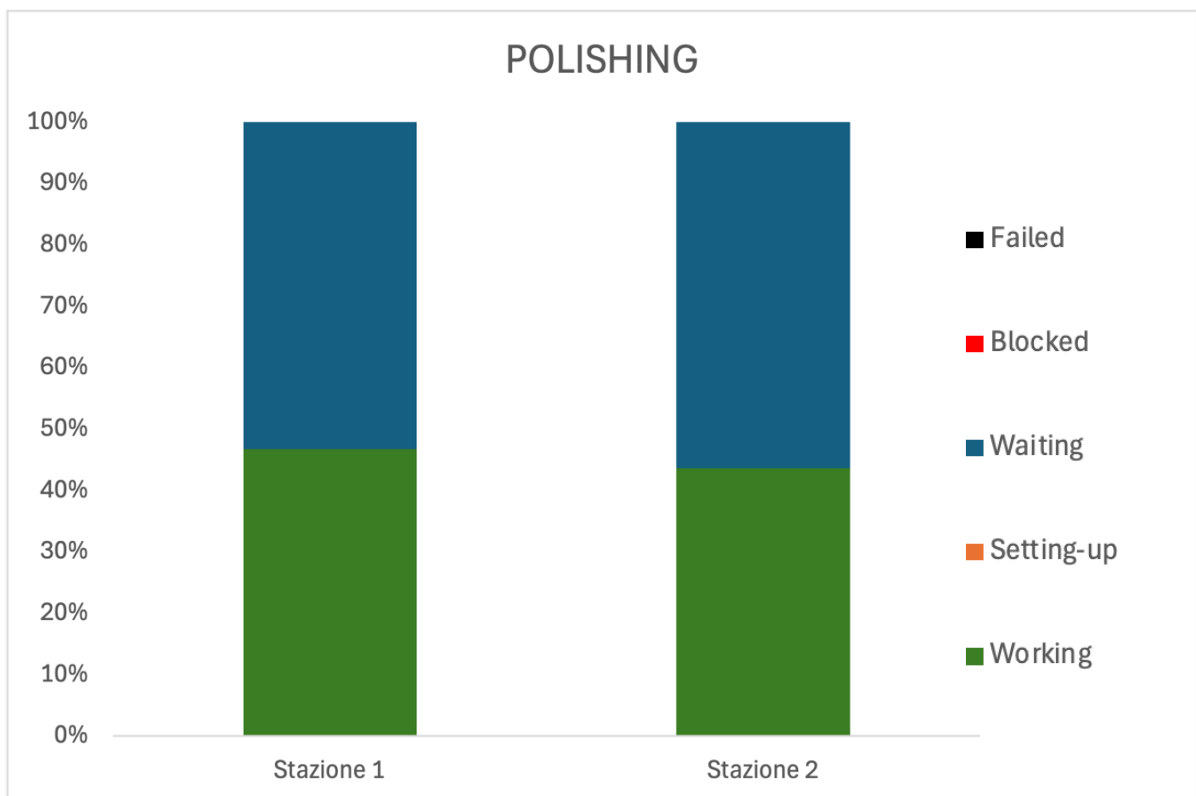


Figura 64: KPI AS-IS Saturazione delle stazioni di lucidatura

5.3 Modello TO-BE

Analizzando quanto descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile valutare differenti scenari utili ad affrontare i colli di bottiglia individuati, applicando il modus operandi visto nel *Capitolo 4*.

5.3.1 Primo scenario

Avendo osservato che il collo di bottiglia che ha un impatto maggiore sulla produttività dell'intera linea è rappresentato dalla fase di assemblaggio, in particolare dovuto alle stazioni di pre-incollaggio e cucitura, si è deciso di effettuare delle variazioni in questa zona di lavoro.

Allora, come si nota dalla seguente figura (*Figura 65*), le postazioni che nel modello AS-IS erano state impostate come manuali, sono state qui sostituite con un nastro automatizzato (oggetto "Conveyor" – *Paragrafo 4.1.6*).

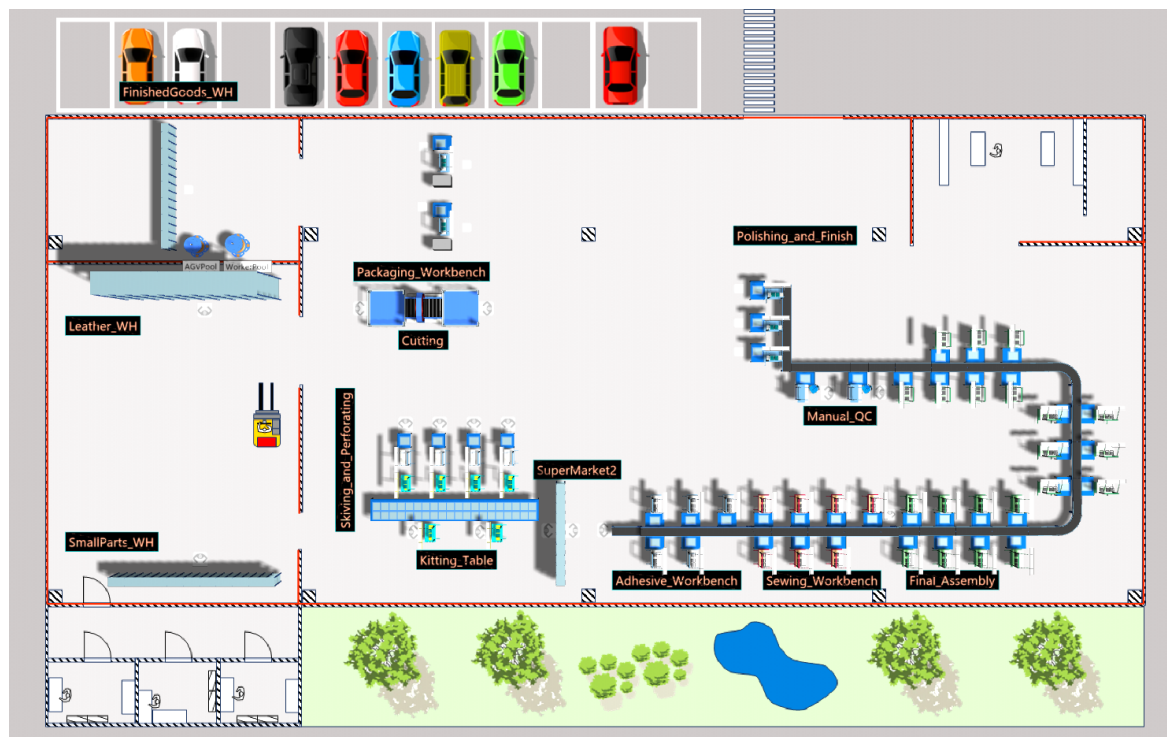


Figura 65: Vista dall'alto configurazione TO-BE_1

Inoltre, il numero di stazioni di lavoro è stato aumentato di due unità per la stazione di spaccatura, di due unità per la stazione di foratura, di un'unità per le zone di pre-incollaggio e cucitura; mentre per la fase di assemblaggio finale sono state aggiunte altre sette stazioni e infine di un'unità per la fase di lucidatura (Figura 66):

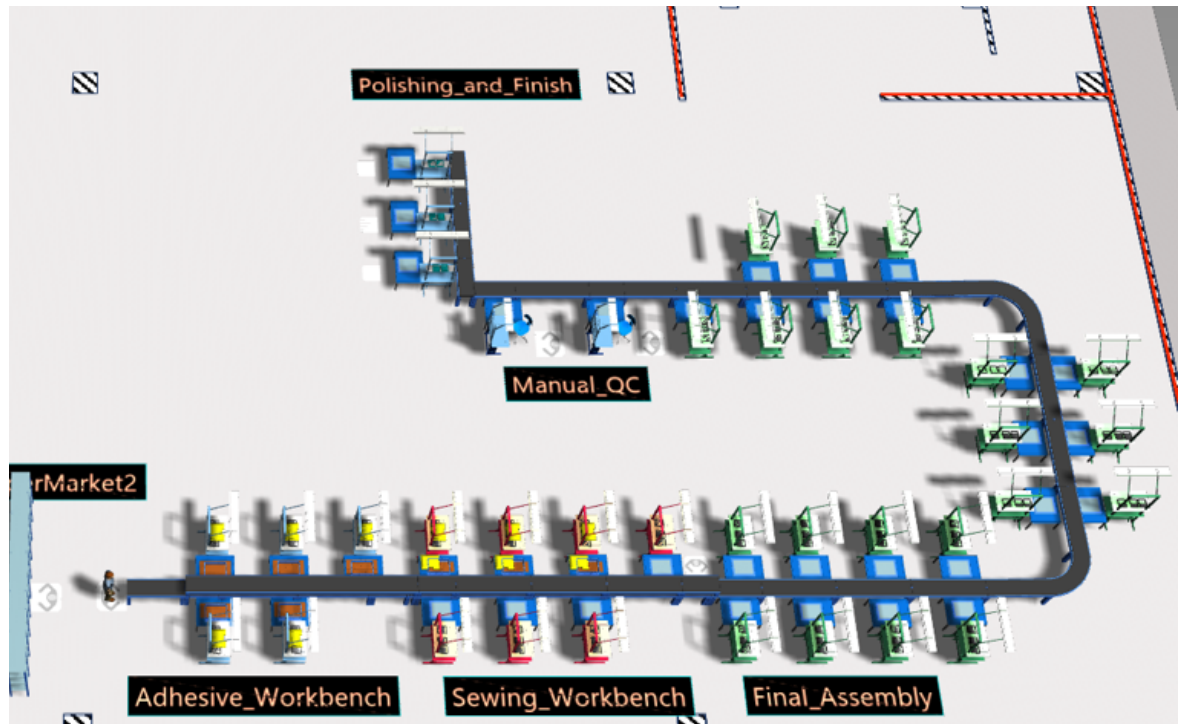


Figura 66: Stazioni di assemblaggio, QC e Lucidatura

In dettaglio:

SCENARIO	AS-IS	TO-BE_1
TIPOLOGIA	Manuale	Automatizzato
NUMERO DI STAZIONI DI SPACCATURA	2	4
NUMERO DI STAZIONI DI FORATURA	2	4
NUMERO DI STAZIONI DI PRE-INCOLLAGGIO	4	5
NUMERO DI STAZIONI DI CUCITURA	6	7
NUMERO DI STAZIONI DI ASSEMBLAGGIO FINALE	14	21
NUMERO DI STAZIONI DI LUCIDATURA	2	3

Tabella 4: Principali differenze Modello AS-IS e Modello TO-BE_1

Ovviamente, passando da un funzionamento di tipo manuale ad uno in cui i trasporti sono automatici ed affidati all'elemento *Conveyor*, è stato necessario modificare le logiche di esercizio intrinseche alle stazioni.

Dunque, oltre ai controlli sugli elementi visti nel *Paragrafo 5.2.1*, sono stati aggiunti dei comandi sui nastri, ad esempio:

- Conveyor riferito alle stazioni di pre-incollaggio:

```
var sealconv, dest : object
var seal, seal1, seal2, seal3, seal4, seal5 : object
var libero : boolean

sealconv := root.input.sealconv

?.pause := true

waituntil root.input.SealFree

?.pause := false
@.move
```

Figura 67: Metodo Conveyor Pre-incollaggio

- Conveyor riferito alle stazioni di cucitura:

```
var sewconv, dest : object
var seal, seal1, seal2, seal3, seal4, seal5, seal6, seal7 : object
var libero : boolean

sewconv := root.input.sewconv

?.pause := true

waituntil root.input.sewfree

if @.getno = 54
  --debug
end

?.pause := false
@.move
```

Figura 68: Metodo Conveyor Cucitura

- Conveyor riferito alle stazioni di lucidatura:

```
if @.destination = root.Polishing2
  @.move(@.destination)
else
  @.move(?.succ)
end
```

Figura 69: Metodo Conveyor Lucidatura

Il principio di funzionamento è lo stesso per tutti i *Conveyors* e si basa sul controllo della disponibilità della stazione di lavoro: il prodotto si muove lungo il *Conveyor* fin quando non viene spostato sulla prima stazione libera. Nel caso in cui non ci fosse alcuna stazione disponibile per eseguire la lavorazione, la parte attende per poi ripetere il controllo.

5.3.1.1 Analisi dei KPI

Anche in questo caso per poter capire il numero ottimale di macchinari necessari, sono state prese in considerazione soltanto le operazioni per le quali è stata utilizzata più di una stazione. Si può vedere che tutte le stazioni delle fasi di pre-incollaggio presentano la stessa saturazione percentuale; lo stesso si osserva per le fasi di cucitura, controllo qualità e lucidatura:

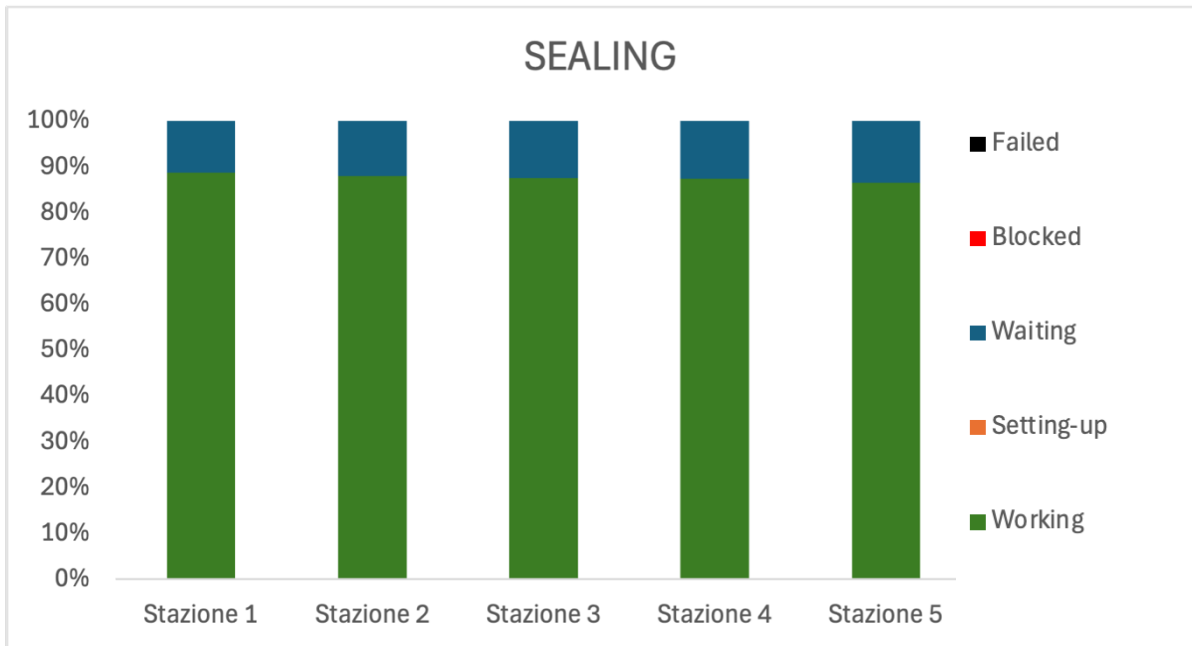


Figura 70: KPI TO-BE_1 Saturazione delle stazioni di pre-incollaggio

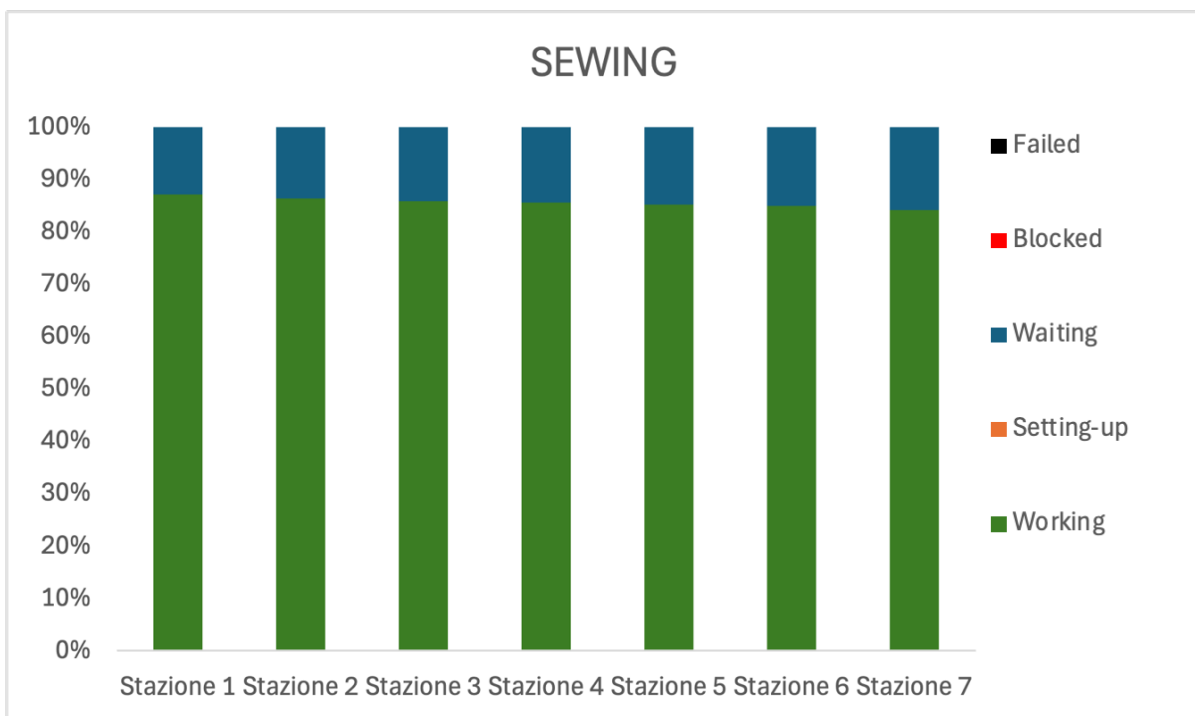


Figura 71: KPI TO-BE_1 Saturazione delle stazioni di cucitura

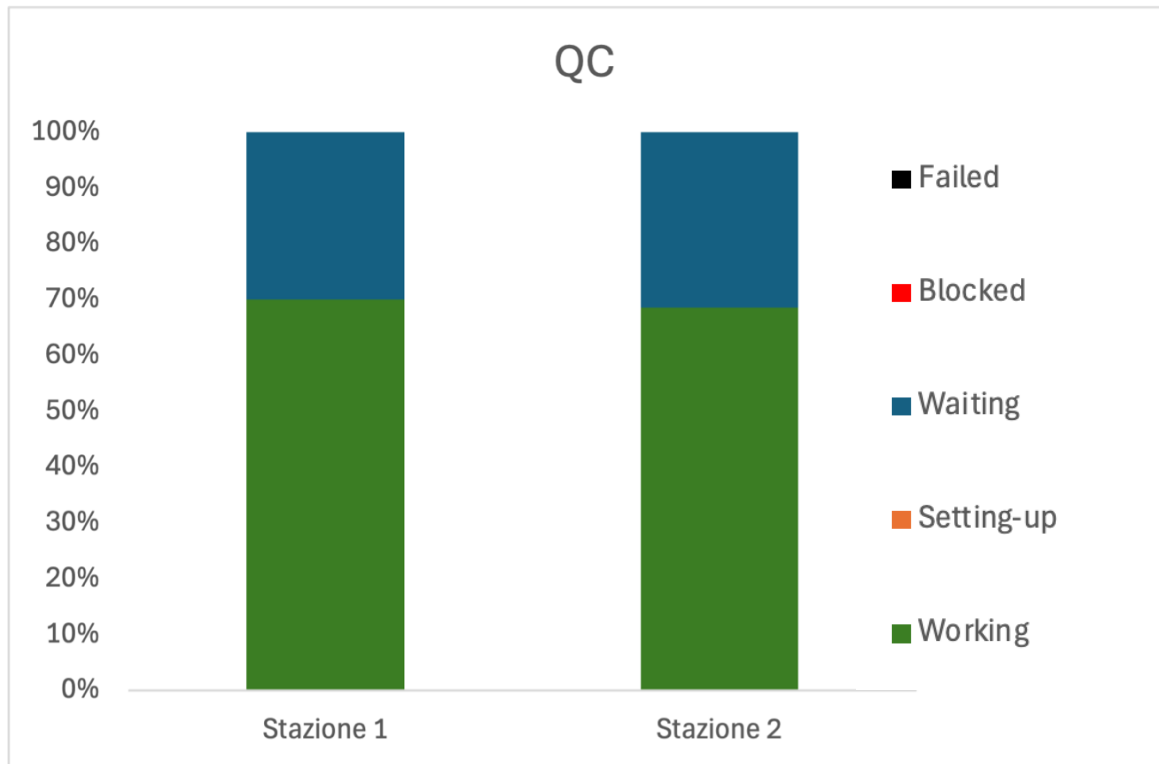


Figura 72: KPI TO-BE_1 Saturazione delle stazioni di QC

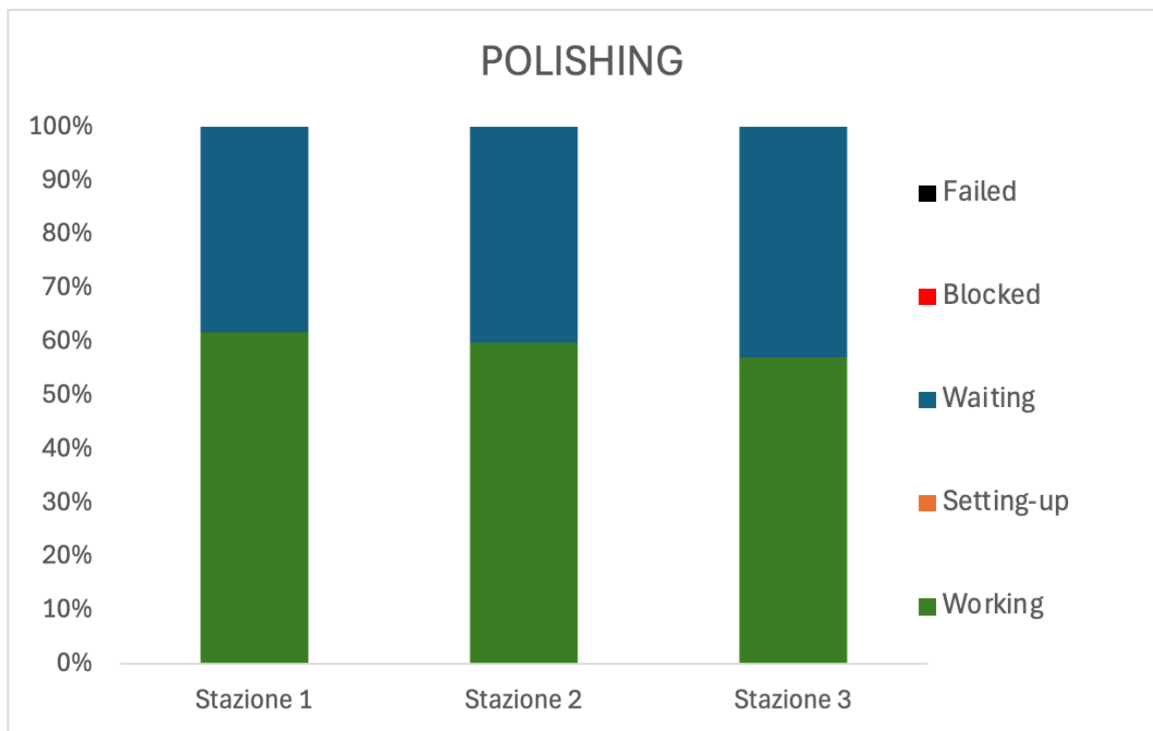


Figura 73: KPI TO-BE_1 Saturazione delle stazioni di lucidatura

Mentre, le ultime quattro stazioni della fase di assemblaggio finale hanno una percentuale di saturazione minore rispetto alle precedenti. Ciò significa che esse entrano in gioco soltanto quando è presente un picco di produzione.

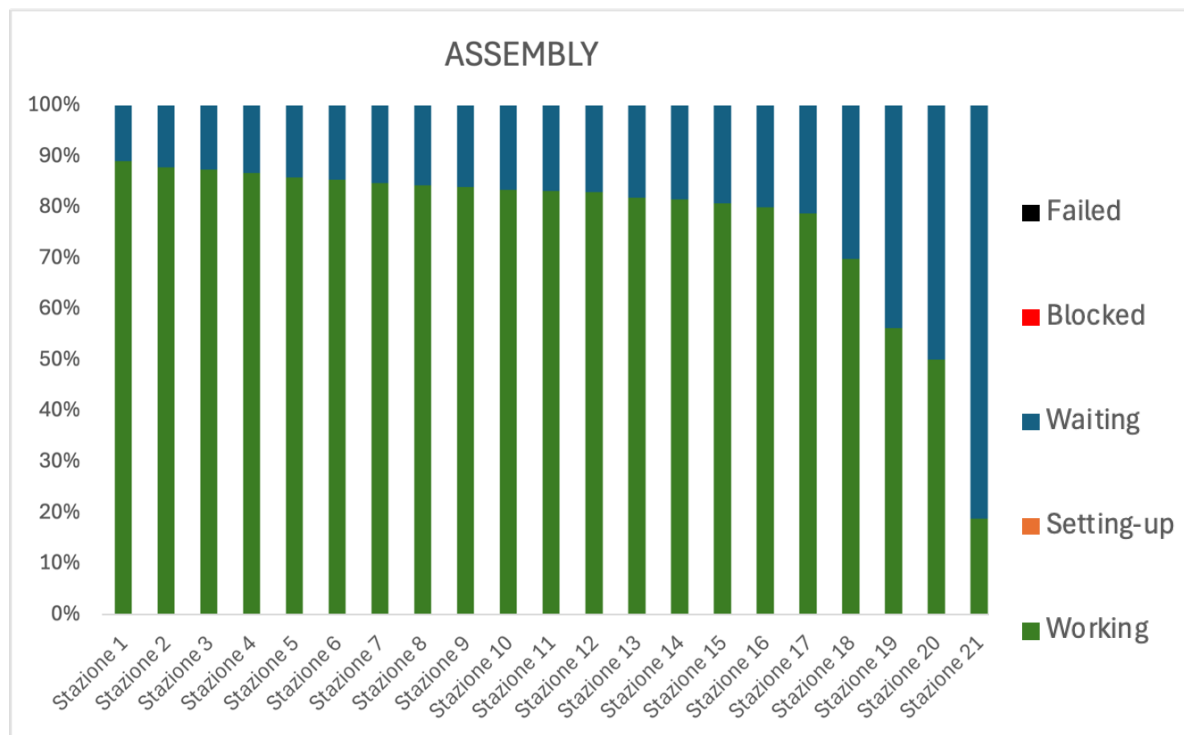


Figura 74: KPI TO-BE_1 Saturazione delle stazioni di assemblaggio finale

Si evidenzia dunque che rispetto al caso precedente (Modello AS-IS), non vi è alcuna stazione a saturazione nulla (con 100% tempi di attesa). Ciò significa che ciascuna delle stazioni installate fornisce contributo alla produttività. In particolare, si vede che:

- Saturazione della fase di pre-incollaggio: circa il 90% per tutte le stazioni;
- Saturazione della fase di cucitura: circa il 90% per tutte le stazioni;
- Saturazione della fase di assemblaggio finale: tra l'80% ed il 90% per quasi tutte le stazioni; gli ultimi quattro macchinari hanno tempi di attesa più elevati;
- Saturazione della fase di QC: circa il 70% per entrambe le stazioni;
- Saturazione della fase di lucidatura: quasi il 60% per tutte le stazioni.

In prima battuta si può concludere che l'incremento del numero di stazioni e l'introduzione di *Conveyor* ha sicuramente favorito una maggiore produttività dell'impianto.

5.3.2 Secondo scenario

Un secondo scenario è stato simulato ipotizzando un picco produttivo; questa variazione ha richiesto l'inserimento di un'ora di lavoro straordinario per alcune risorse. È stato modificato il tempo di simulazione portandolo a nove ore; tuttavia, tale incremento ha interessato soltanto la fase di taglio, spaccatura, foratura e *Kitting* (che rappresentano il collo di bottiglia). Le fasi successive, invece, continuano a lavorare per otto ore. Accanto a ciò, è stato ulteriormente incrementato di un'unità il numero di stazioni dalla fase di pre-incollaggio a quella di assemblaggio finale (stazioni asservite dal *Conveyor*) (Figura 75):



Figura 75: Vista dall'alto configurazione TO-BE_2

Si riporta un riepilogo delle principali differenze tra i due diversi scenari:

SCENARIO	TO-BE_1	TO-BE_2
TIPOLOGIA	Automatizzato	Automatizzato
TEMPO TOTALE DI SIMULAZIONE [ORE]	8	9
NUMERO DI STAZIONI DI PRE-INCOLLAGGIO	5	6
NUMERO DI STAZIONI DI CUCITURA	7	8
NUMERO DI STAZIONI DI ASSEMBLAGGIO FINALE	21	22

Tabella 5: Principali differenze Modello TO-BE_1 e Modello TO-BE_2

In questo caso, le logiche di funzionamento sono identiche a quelle viste nello scenario precedente (*Paragrafo 5.3.1*), l'unica variante corrisponde appunto all'aumento del numero di macchinari.

5.3.2.1 Analisi dei KPI

In questo caso, si evidenzia per ciascuna fase di lavorazione il medesimo comportamento: gli ultimi macchinari hanno una saturazione inferiore rispetto ai precedenti. Se ne riportano a titolo d'esempio i grafici della fase di cucitura e di lucidatura:

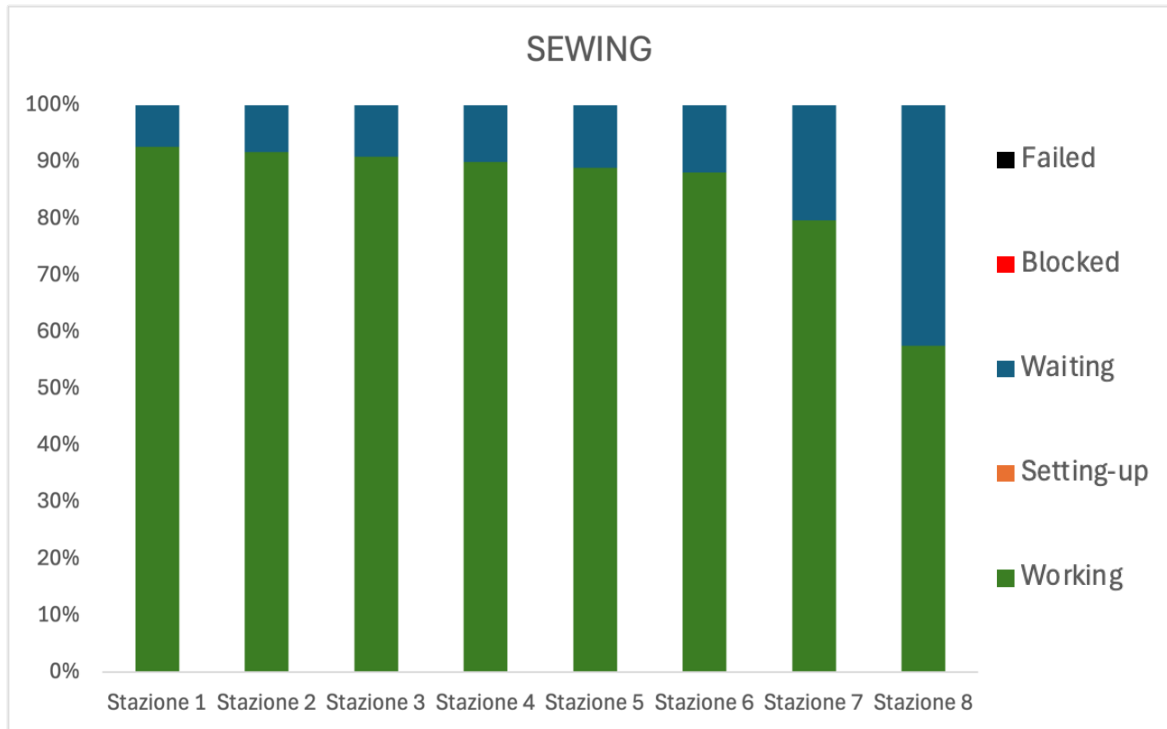


Figura 76: KPI TO-BE_2 Saturazione delle stazioni di cucitura

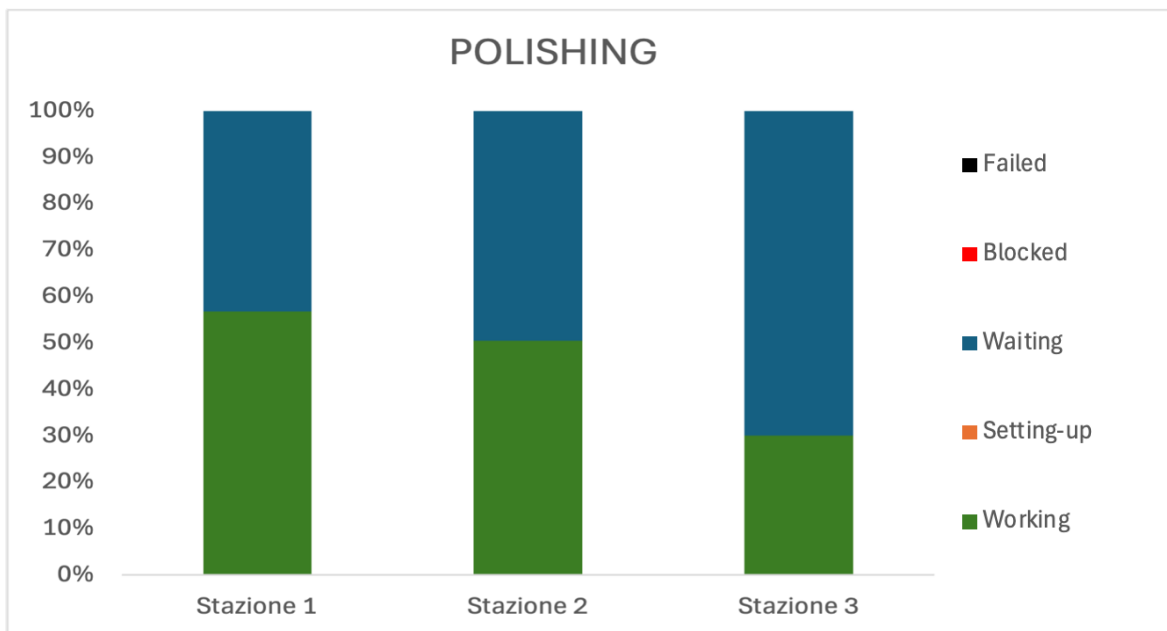


Figura 77: KPI TO-BE_2 Saturazione delle stazioni di lucidatura

In generale, si osserva che non sono presenti stazioni con saturazione nulla, ed in particolare, le ultime stazioni aggiunte in ciascuna fase del processo produttivo rispetto al Modello TO-BE_1 possiedono una percentuale di saturazione maggiore. Il loro utilizzo giustifica l'aumento di produttività.

5.4 Varianti

Ottenute le diverse configurazioni d’impianto, si è pensato di sfruttare quanto più possibile le potenzialità della simulazione, immaginando di incrementare il numero di prodotti realizzabili dall’azienda. Il modello utilizzato è quello ottenuto come secondo scenario. Si passa dunque dalla produzione del solo prodotto A, alla produzione di tre prodotti così pensati:

1. Prodotto A: borsa di grande dimensione;
2. Prodotto B: borsa di piccola dimensione;
3. Prodotto C: portafoglio di colore differente rispetto ai prodotti A e B.

Se ne riporta il riepilogo delle principali differenze rispetto al modello di simulazione TO-BE_2:

SCENARIO	TO-BE_2	VARIANTI
Tipologia	Monoprodotto	Multiprodotto
Numero totale di stazioni	54	55

Tabella 6: Principali differenze Modello TO-BE_2 e Modello VARIANTI

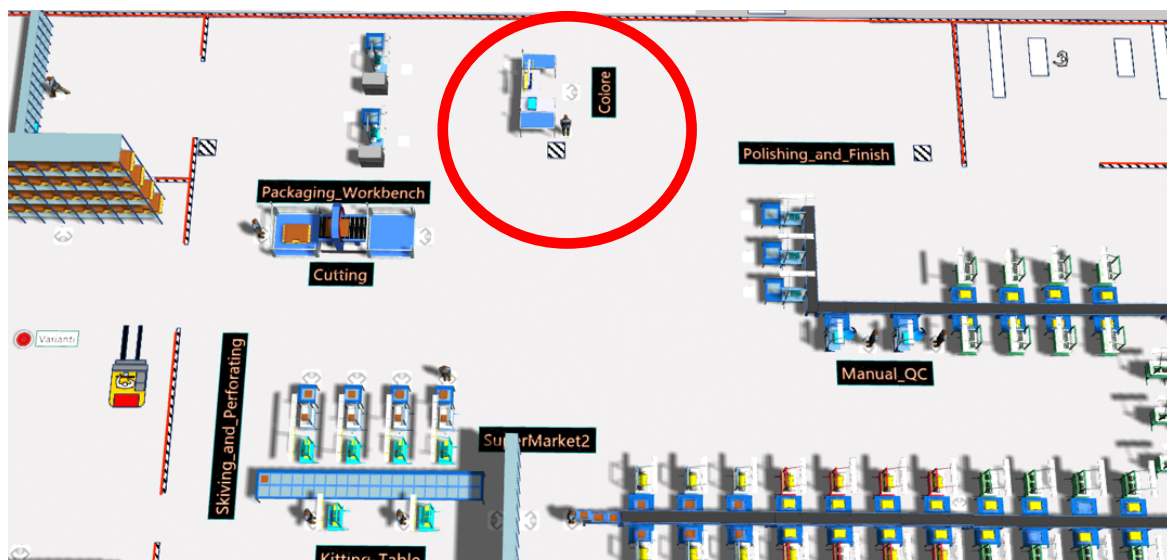


Figura 78: Configurazione VARIANTI

Per la creazione del modello, si è seguita la stessa impostazione iniziale vista nel caso di Modello AS-IS. La BOM è ora la seguente:

PROD.	COL.	LUNG.[M]	LARG.[M]	KIT
A	8384	0,40	0,30	5
B	8384	0,30	0,30	10
C	12582912	0,20	0,10	15

Tabella 7: BOM configurazione VARIANTI

Si noti che in questo caso, sono state aggiunte altre informazioni indicanti le dimensioni e il numero di kit da utilizzare. Questi ultimi rappresentano quanti pezzi di pelle tagliata sono necessari per comporre il prodotto a cui si riferiscono. Per semplicità il numero di kit è stato imposto pari al numero di elementi tagliati.

Si definiscono i nuovi ordini da evadere, caratterizzati dal tipo e dalla quantità di prodotti definiti secondo un mix produttivo; si nota che per il prodotto C (portafoglio) si ha un volume ridotto rispetto agli altri due:

NUMERO DI ORDINE	ORDINE	PROD.	QUANTITÀ	QUANTITÀ RIMASTA
1	1	A	9	0
2	1	C	1	0
3	1	B	11	0
4	1	C	3	0

Tabella 8: Ordini configurazione VARIANTI

Sono stati definiti i tempi di lavorazione per ciascuna stazione per la creazione dei diversi prodotti:

PRODOTTO	A	B	C
STAZIONE	Tempo [minuti]		
CUTTING	7:30	9:00	12:30
SKIVING (N.4)	45:00	45:00	1:00:00
PERFORATING (N.4)	45:00	45:00	30:00
KITTING (N.2)	1:30	1:00	30:00
SEAL (N.6)	8:34.29	8:00	3:30
SEWING (N.8)	10:00	7:00	4:45
ASSEMBLY (N.21)	30:00	20:00	10:30
QC (N.2)	2:00	2:00	2:00
POLISHING (N.3)	3:00	3:00	1:00
PACKAGING (N.2)	2:00	2:00	2:00
COLOUR (N.1)	0:00	0:00	2:00

Tabella 9: Tempi delle stazioni nella configurazione AS-IS

La diversificazione dei prodotti è stata fatta agendo proprio sui tempi: si è ipotizzato che avendo gli articoli diverse dimensioni, essi richiedessero dei tempi ciclo e delle raffinatezze differenti. Ad esempio, la borsa di piccola dimensione (prodotto B) necessita che la pelle subisca un assottigliamento maggiore rispetto a quella di grande dimensione (prodotto A). Allo stesso modo, il portafoglio (prodotto C) rispetto agli altri due prodotti, richiede un ulteriore assottigliamento ma ha bisogno di meno fori e di conseguenza la fase di “*Perforating*” presenta un tempo ridotto.

Dal punto di vista dei *Controls*, la diversificazione dei prodotti è stata impostata all’interno del metodo presente nella stazione di taglio che rappresenta la prima operazione. È stata utilizzata una variabile di tipo “On/Off” per poter distinguere il modo in cui vengono creati i differenti prodotti. Se la variabile è accesa si ha la randomizzazione, criterio secondo cui se il numero estratto rientra in una certa percentuale si ha un determinato prodotto; gli altri due si ottengono in caso contrario. Alternativamente, si può procedere seguendo il piano ordini creato (Tabella 8). Per farlo, il codice da seguire (Figura 79) prevede che vengano letti i contenuti della tabella di riga in riga tramite un ciclo iterativo di tipo for, riducendo via via la quantità di un’unità quando la parte viene lavorata. Quando essa diventa pari a zero, si passa alla riga successiva. Si nota che si segue una logica tale per cui solo una volta concluse le operazioni dedicate ad un prodotto, si passa al prodotto successivo: si dedica del tempo durante la giornata lavorativa alla produzione dell’elemento C, solo dopo aver

finito di lavorare i prodotti A o B. Ciò è giustificato dal fatto che se si fosse seguito un criterio differente prevedendo un mix produttivo in cui i vari articoli vengono lavorati in contemporanea, sarebbero stati necessari dei continui cambi e set-up con annesso aumento del tempo di non valore aggiunto.

```

var tabtempi, ordini : object
var prod : string
var rand : real
ordini := root.input.ordini

if root.Checkbox.value = true //scelta del prodotto casuale
  rand:=z_uniform(1,0,1)
  if rand>0 and rand <= 0.5
    @.PF:="B"
  elseif rand > 0.5 and rand<= 0.6
    @.PF:="C"
  else
    @.PF := "A"
  end
else //segue il piano produzione
  for var i := 1 to ordini.ydim
    if ordini["Quantità rimasta",i] > 0
      @.PF := ordini["Prodotto",i]
      ordini["Quantità rimasta",i] -= 1
      exitloop
    elseif i = ordini.ydim and ordini["Quantità rimasta",i] <= 0
      for var j := 1 to ordini.ydim
        ordini["Quantità rimasta",j] := ordini["Quantità",j]
      next
      ordini["Quantità rimasta",1] -= 1
      @.PF := ordini["Prodotto",1]
    end
  next
end

prod:=@.PF
tabtempi := root.input.Tempi
?.ProcTime := tabtempi[prod, ?]

```

Figura 79: Metodo per la diversificazione dei prodotti

Ovviamente, è stata data anche indicazione circa la diversa dimensione dei prodotti; ciò è stato fatto all'interno del codice in uscita dal macchinario di taglio (Figura 80):

```

var app, newpiece : object
var tipo : string
var ordine, pezzisingolo : integer

tipo := @.PF
ordine := str_to_num(@.ordine)
pezzisingolo := root.input.PezziTaglio

app := .UserObjects.MU.Appoggio.create(?)
for var i := 1 to pezzisingolo --pezzi
  newpiece := .UserObjects.MU.PelleTagliata.create(app)
  newpiece.PF := tipo
  newpiece.ordine := to_str(ordine)
next

newpiece.MULength := root.input.BOM["Lunghezza", tipo]
newpiece.MUHeight := root.input.BOM["Larghezza", tipo]

@.delete

```

Figura 80: Metodo "OnExit" della stazione di taglio

Si può quindi osservare a livello grafico che a valle della fase di taglio si hanno parti di dimensioni differenti (più piccole ovviamente nel caso di prodotto C) (Figura 81):

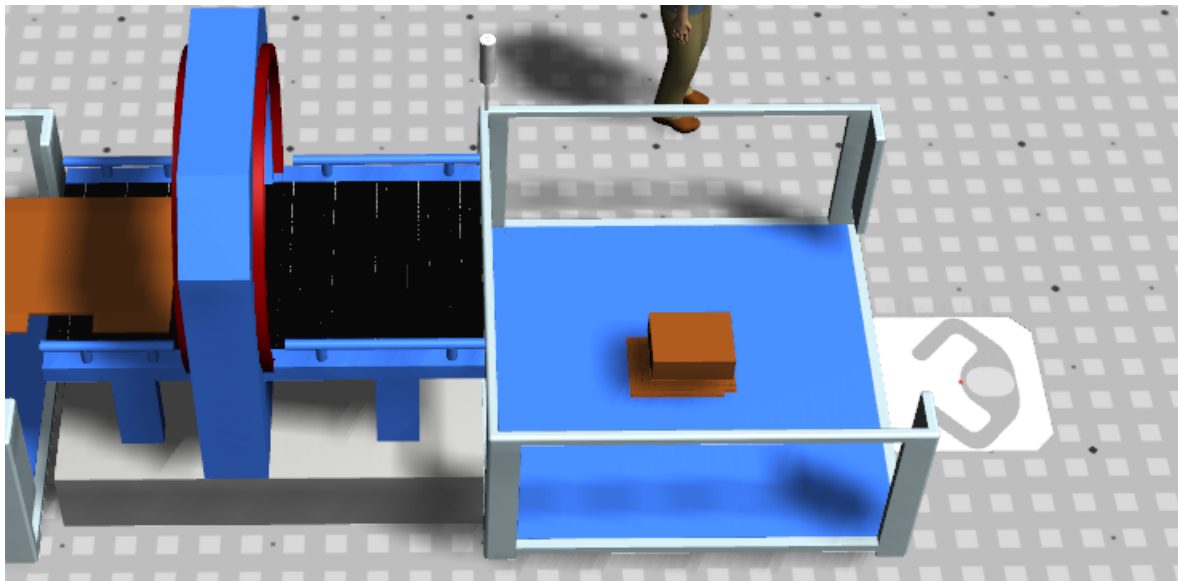


Figura 81: Dettaglio differenti dimensioni dei prodotti

Una modifica molto importante che è stata fatta rispetto all'impianto produttore un unico prodotto, riguarda il metodo contenuto negli *Store* a valle delle fasi di spaccatura e scarnitura. Infatti, è stato necessario specificare che il numero di pezzi di pelle da accantonare prima di passare alla fase di *Kitting*, dovesse variare in funzione del prodotto. Oltretutto, è stato inserito un ulteriore controllo per verificare che i pezzi accumulati non solo fossero in numero corretto, ma anche tutti dello stesso tipo (parti delle stesse dimensioni).

Per quanto riguarda l'intero processo produttivo, non ci sono state modifiche importanti rispetto al Modello TO-BE_2: il codice relativo a ciascuna stazione contiene l'informazione circa il tempo di permanenza sulla stazione per eseguire la lavorazione (*Tabella 8*):

```
var tabtempi:object

tabtempi := root.input.Tempi
?.ProcTime := tabtempi[@.PF, ?]
```

Figura 82: Metodo sulle stazioni

Un'altra variante considerata, dedicata al solo portafoglio (prodotto C), è il differente colore. Nel Plant è stata inserita direttamente dalla *ToolBox* un'altra stazione, posta dopo la fase di lucidatura e prima del *Packaging*.

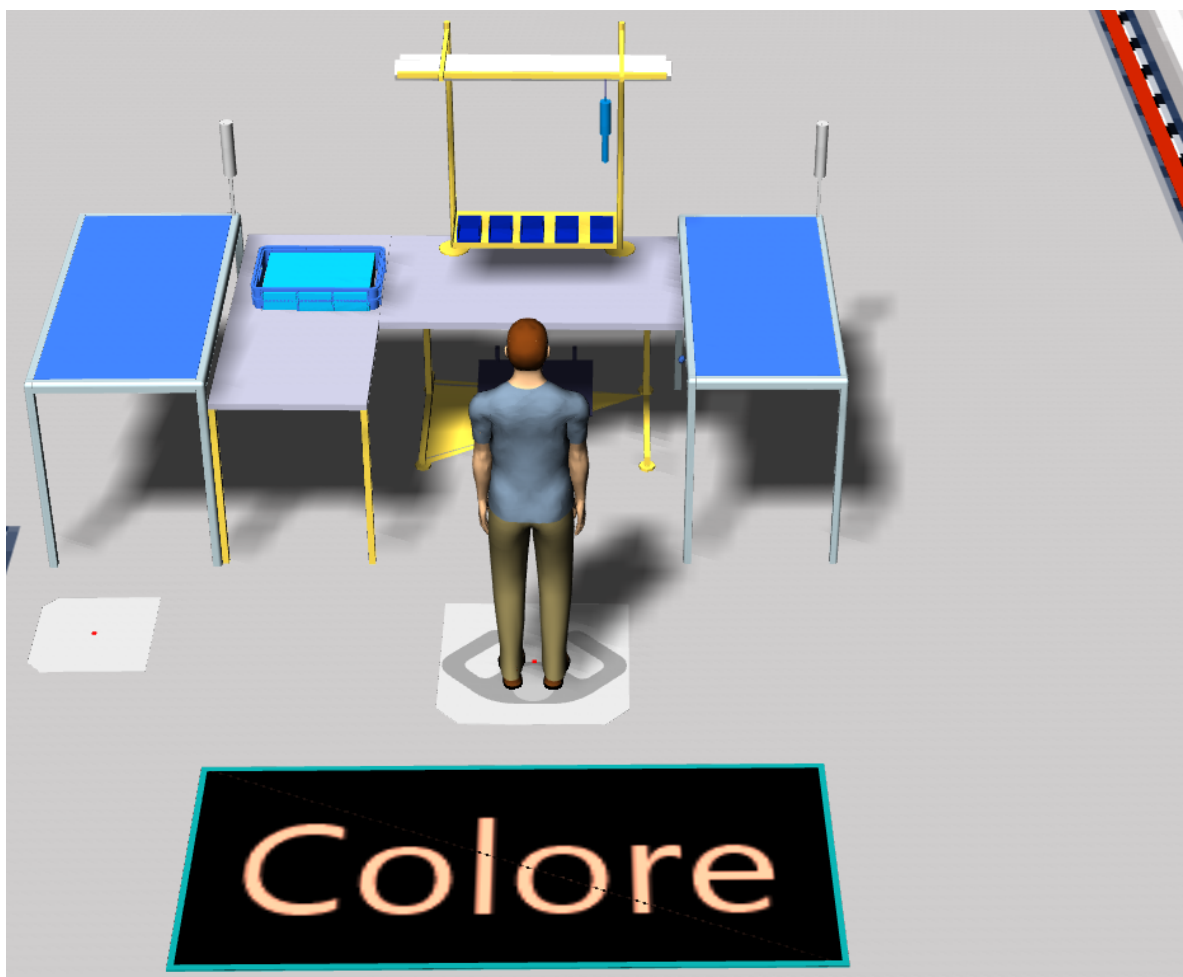


Figura 83: Stazione colore

La logica di funzionamento integrata è tale per cui, qualora il prodotto che si sta lavorando nella stazione precedente è di tipo "C", allora viene portata al macchinario "Colore". In caso contrario (se il prodotto è A o B), viene bypassata questa operazione e segue direttamente la fase di *Packaging*.

```

var agvlist, agv, QClst, qc, marker, MPack : object
var check, dado, percentuale : integer

agvlist := root.input.agv
qclst := root.input.QCAuto
dado := z_uniform(1, 0, 100)

repeat
    waituntil root.Input.AGVFree

    //Cerco l'agv disponibile
    for var i := 1 to agvlist.ydim
        if agvlist["Disponibile", i] = true
            agv := agvlist["AGV", i]
            agvlist["Disponibile", i] := false
            exitloop
        end
    next

    if agv = void
        wait 5
    end
until agv /= void

//Se tutti gli agv sono impegnati blocco le prossime uscite
for var i := 1 to agvlist.ydim
    if agvlist["Disponibile", i] = false
        check += 1
    end
next
if check = agvpool.NumAssignedWorkers
    root.Input.AGVFree := false
end

if ? = root.Store6
    agv.Goto(Ma)
    marker := Ma
elseif ? = root.store61
    agv.Goto(Mb)
    marker := Mb
else
    agv.Goto(Mc)
    marker := Mc

waituntil marker.nummu = 1 and marker.cont = agv

if @.cont.PF = "C"

    @.destination := root.Pre_Colour

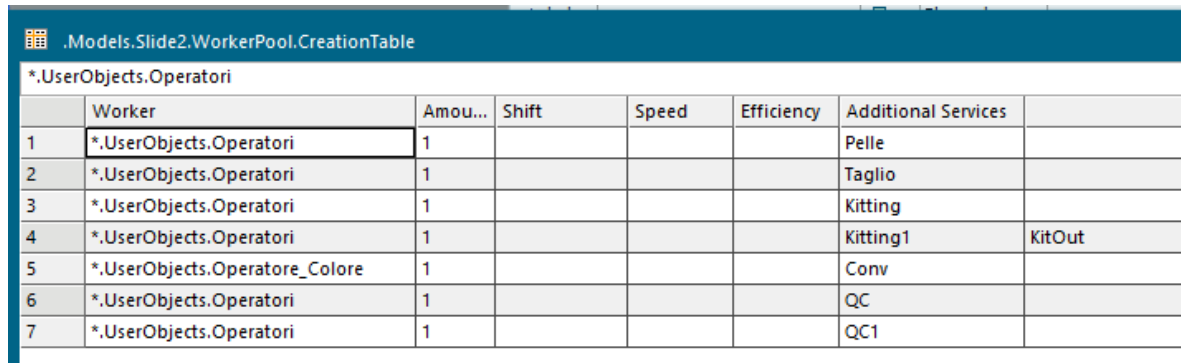
    MPack := root.Colour1
    qc := root.Pre_Colour
else

    waituntil root.Packaging.Disponibile or root.Packaging2.disponibile
    if root.packaging.disponibile
        MPack := root.Mpack
        @.destination := root.Packaging
        qc := root.Packaging
        root.Packaging.Disponibile := false
    else
        MPack := root.Mpack4
        @.destination := root.Packaging2
        qc := root.Packaging2
        root.Packaging2.Disponibile := false
    end
end
@.move(agv)
agv.Goto(MPack)
waituntil MPack.nummu = 1 and MPack.cont = agv
@.move(qc)
agvlist["Disponibile", agv] := true
root.input.agvfree := true

```

Figura 84: Metodo "OnExit" della stazione di lucidatura

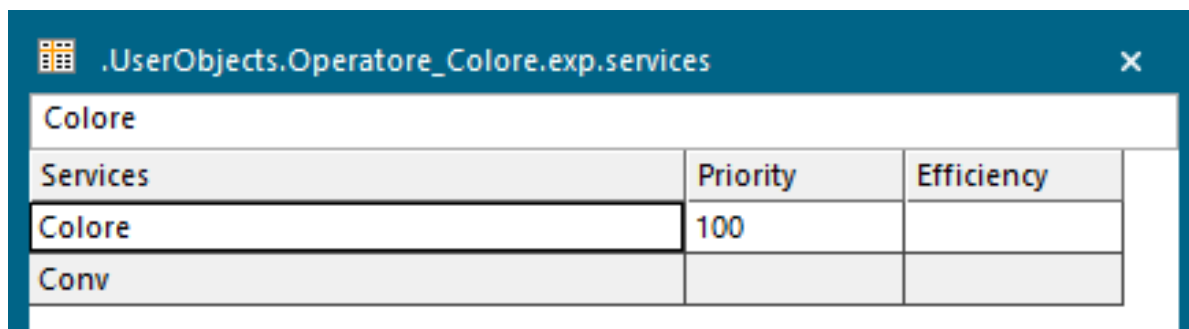
Il trasferimento alla stazione impiegata per l'operazione di tintura, è affidato ad un operatore dedicato aggiunto alla *WorkerPool* con l'indicazione di “Operatore_Colore” (Figura 85):



	Worker	Amou...	Shift	Speed	Efficiency	Additional Services	
1	*.UserObjects.Operatori	1				Pelle	
2	*.UserObjects.Operatori	1				Taglio	
3	*.UserObjects.Operatori	1				Kitting	
4	*.UserObjects.Operatori	1				Kitting1	KitOut
5	*.UserObjects.Operatore_Colore	1				Conv	
6	*.UserObjects.Operatori	1				QC	
7	*.UserObjects.Operatori	1				QC1	

Figura 85: CreationTable della WorkerPool

Al *Worker* (Paragrafo 4.1.10) sono state attribuite diverse mansioni con priorità diversa (100 nel caso di “Colore”, Figura 86) ciò significa che l'impiego principale dell'operatore è quello riferito alla stazione “Colour”, ma una volta terminata questa operazione se non sono in arrivo altri prodotti di tipo “C”, funge da supporto per le altre mansioni.



Colore			
Services	Priority	Efficiency	
Colore	100		
Conv			

Figura 86: Priorità dell'Operatore_Colore

Come per la dimensione dei diversi prodotti, anche per il differente colore è stato indicata la variazione all'interno del codice (Figura 87) visibile anche graficamente (Figura 88).

```
@.cont._3D.materialactive := true
@.cont._3D.materialdiffusecolor := root.Input.BOM["Colore",@.cont.PF]
@.move(Post_Colour)
```

Figura 87: Metodo “OnExit” della stazione colore

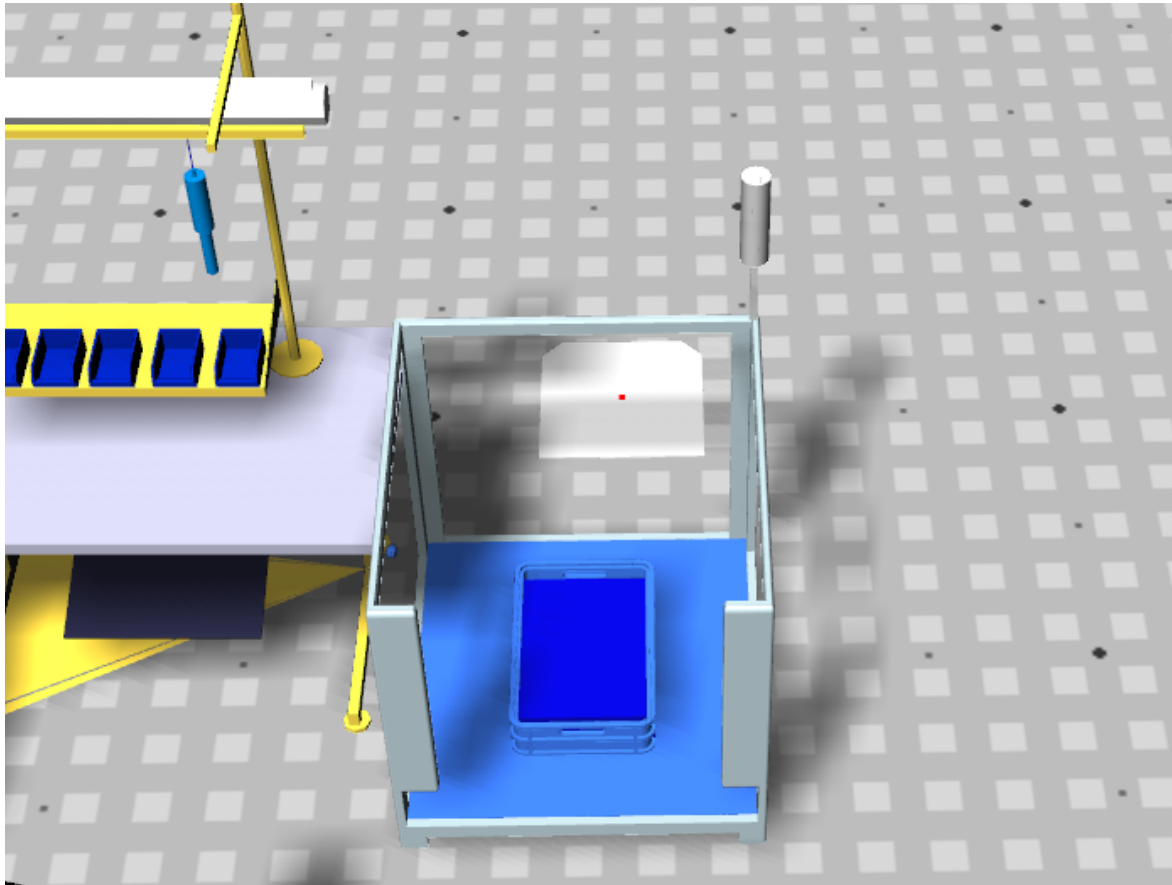


Figura 88: Dettaglio diverso colore del prodotto C

In ultimo, nel *Buffer* a valle della fase di tintura, è presente il codice contenente le informazioni circa il trasferimento del prodotto nel magazzino dei prodotti finiti, analogo a quello presente nelle stazioni di lucidatura per i prodotti A e B, ma ovviamente con differenti destinazioni.

5.4.1 Analisi dei KPI

Anche in questo caso è possibile analizzare la saturazione della linea produttiva. Si differenziano il caso in cui la simulazione è stata fatta seguendo il piano ordini (impostazione “Off” della Variabile “On/Off”), da quello in cui i prodotti seguono una produzione randomica (impostazione “On” della Variabile “On/Off”).

In particolare, osservando la saturazione dei macchinari per ciascun reparto è possibile classificare gli andamenti al seguente modo:

- Le stazioni della fase di lavorazione presentano una saturazione pressoché costante; è possibile osservare tale andamento ad esempio nella fase di pre-incollaggio e di controllo qualità sia del modello che segue il piano ordini che in quello randomico (*Figura 89, Figura 90*);

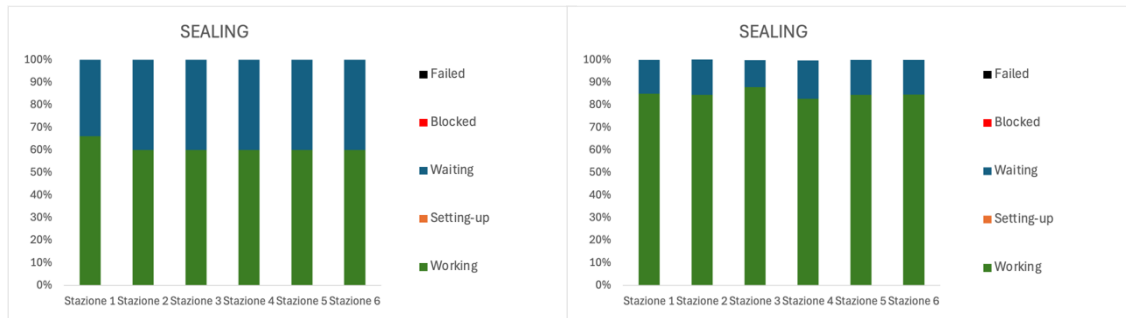


Figura 89: KPI VARIANTI_ORDINI Saturazione delle stazioni di pre-incollaggio (a sinistra), KPI VARIANTI_RANDOM Saturazione delle stazioni di pre-incollaggio (a destra)

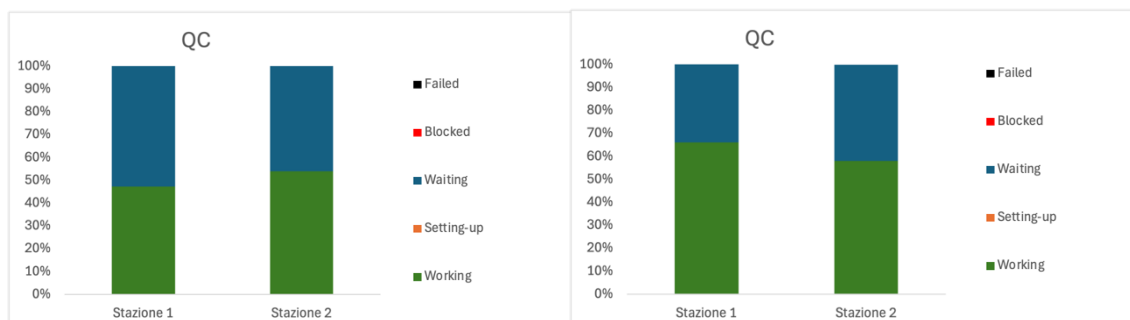


Figura 90: KPI VARIANTI_ORDINI Saturazione delle stazioni di QC (a sinistra), KPI VARIANTI_RANDOM Saturazione delle stazioni di QC (a destra)

- Alcune stazioni presentano una saturazione maggiore rispetto ad altre come si osserva per la fasi di cucitura e di lucidatura del modello randomico (Figura 91, Figura 92):

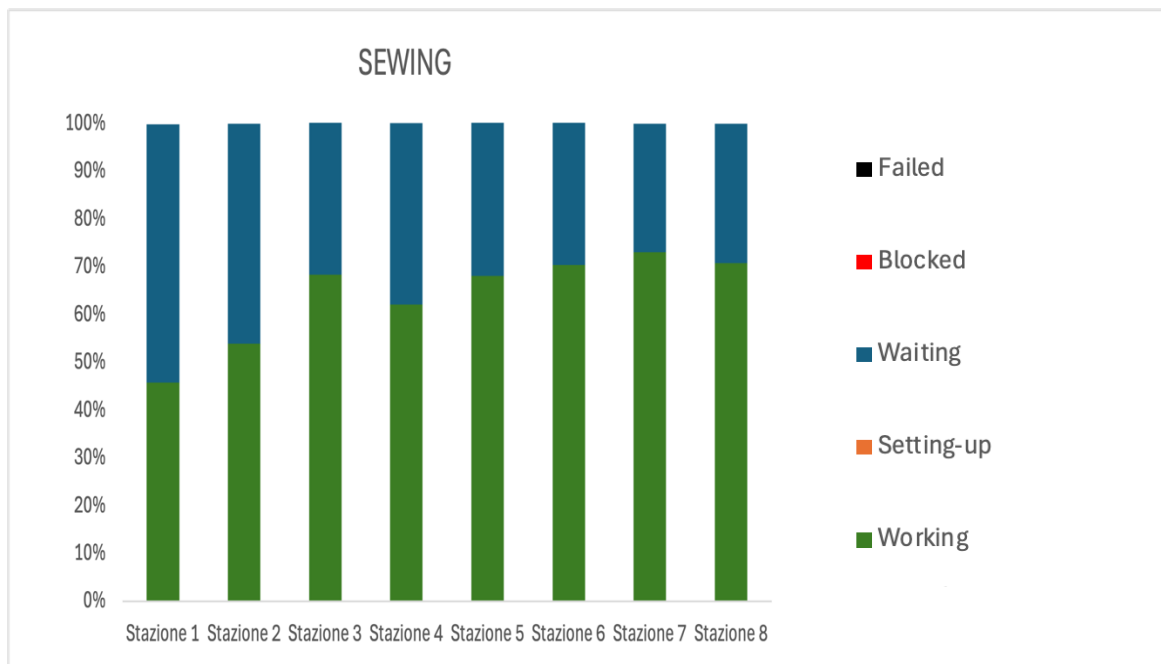


Figura 91: KPI VARIANTI_RANDOM Saturazione delle stazioni di cucitura

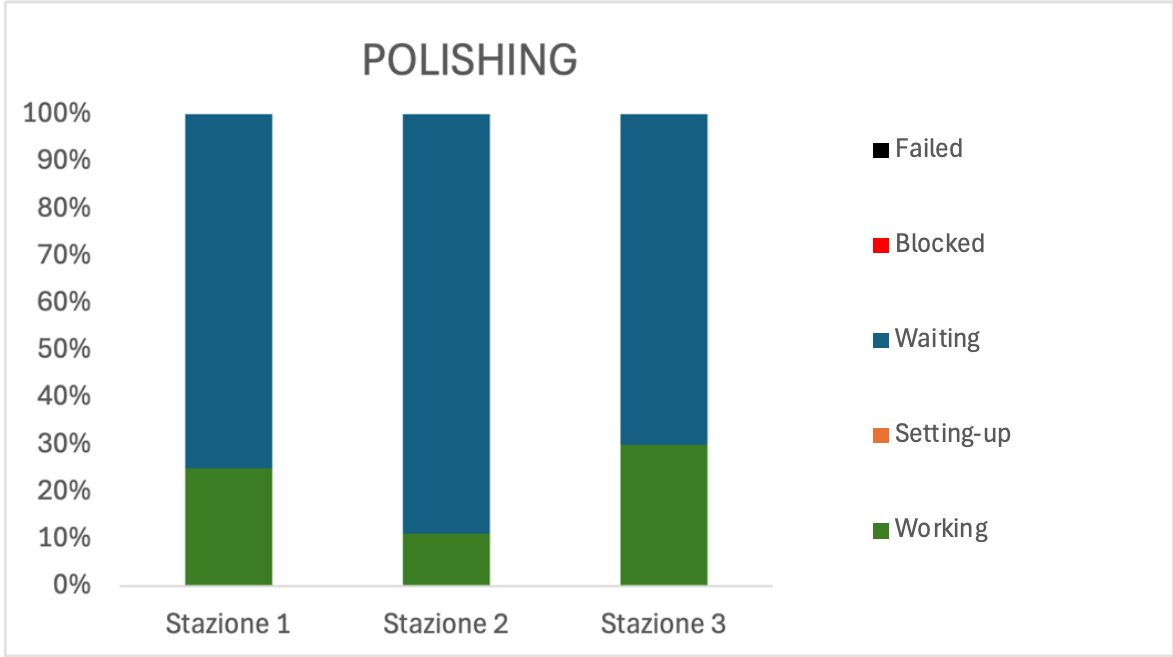


Figura 92: KPI VARIANTI_RANDOM Saturazione delle stazioni di lucidatura

- La stazione finale ha saturazione nulla come si evidenzia nel caso di fase di lucidatura del modello che segue il piano ordini (Figura 93):

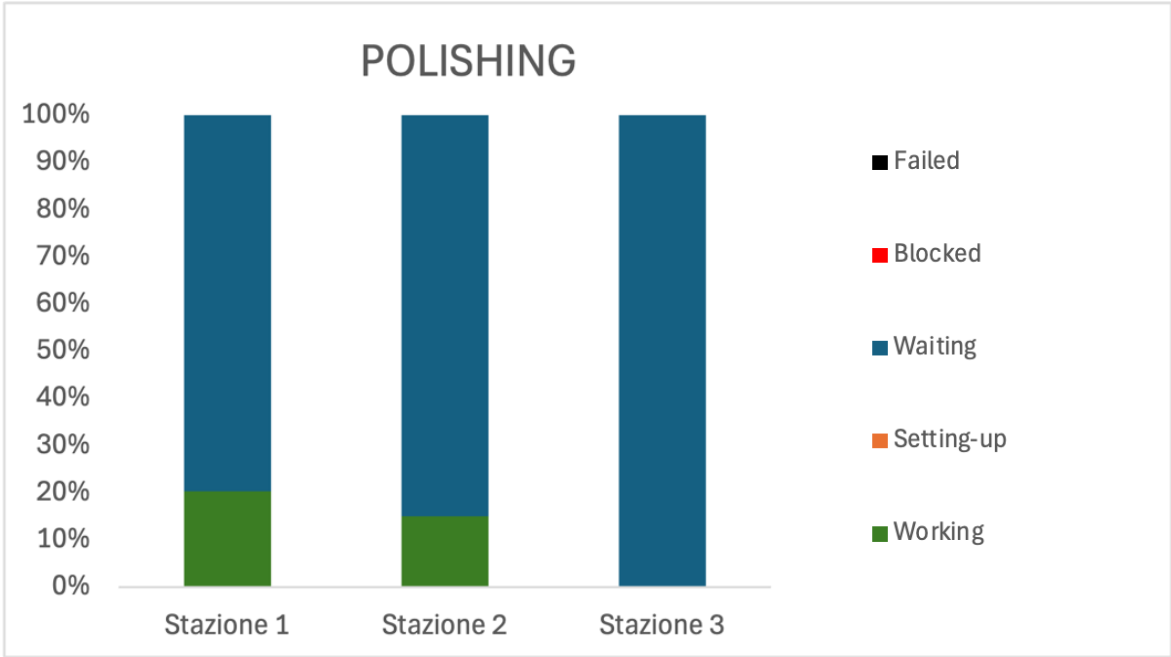


Figura 93: KPI VARIANTI_ORDINI Saturazione delle stazioni di lucidatura

In particolare, si pone attenzione a ciò che accade solamente alla stazione di tintura:

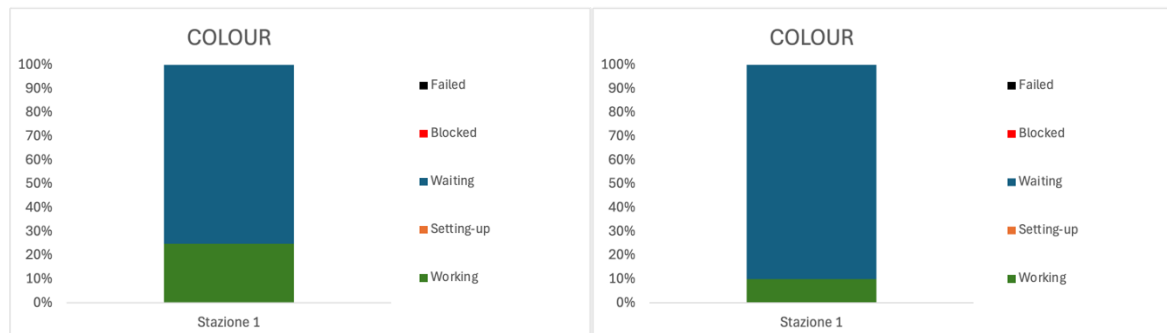


Figura 94: KPI VARIANTI_ORDINI Saturazione della stazione di tintura

Figura 95: KPI VARIANTI_ORDINI Saturazione della stazione di tintura

Si evidenzia che in entrambi i casi, le saturazioni delle diverse stazioni non sono grandemente cambiate rispetto al modello TO-BE_2, indicando che così com'è stato pensato, esso è in grado di sostenere la produzione di differenti prodotti.

Per contro, si pone attenzione al fatto che le stazioni che si occupano del cambiamento di colore del prodotto C hanno una saturazione piuttosto bassa. Ciò è giustificato sicuramente dalla ridotta quantità di elementi di tipo C da produrre. Si può quindi concludere che, appurato che l'intera catena produttiva è utilizzabile per un mix produttivo differente, si potrebbe ulteriormente incrementare la capacità produttiva dell'intera linea, aumentando nella BOM il numero di elementi di tipo C e variando nuovamente i tempi. Questi ultimi anziché essere imposti in input come ipotesi, potrebbero essere calcolati in modo tale da saturare quanto più possibile tutte le stazioni.

5.5 Valutazione energetica ed economica

Tra le tante funzioni del software **Plant Simulation**, è presente anche la possibilità di inserire per ciascun macchinario informazioni circa il consumo energetico ed il costo sostenuto. Si procede dunque con un'analisi energetica ed economica per il solo Modello VARIANTI (in quanto il confronto con il Modello TO-BE_2 non sarebbe consistente, essendo i risultati pressoché comparabili).

5.5.1 Analisi energetica

I consumi energetici reperiti per ciascun macchinario sono di seguito riportati:

- Macchina di taglio: 2,4kW; [18]
- Macchina per spaccatura: 1,5 kW; [19]
- Macchina di pre-incollaggio: 600W; [21]
- Macchina da cucitura: 750W; [22]

All'interno del software, il consumo viene inserito all'interno della classe delle varie stazioni settando i parametri presenti nella finestra di dialogo che compare cliccando sulla stazione stessa. In particolare, è possibile definire il consumo del macchinario per ciascun

evento, ad esempio impostare quanto lo stato di “*Working*” o di “*Waiting*” contribuisce al consumo (Figura 96):

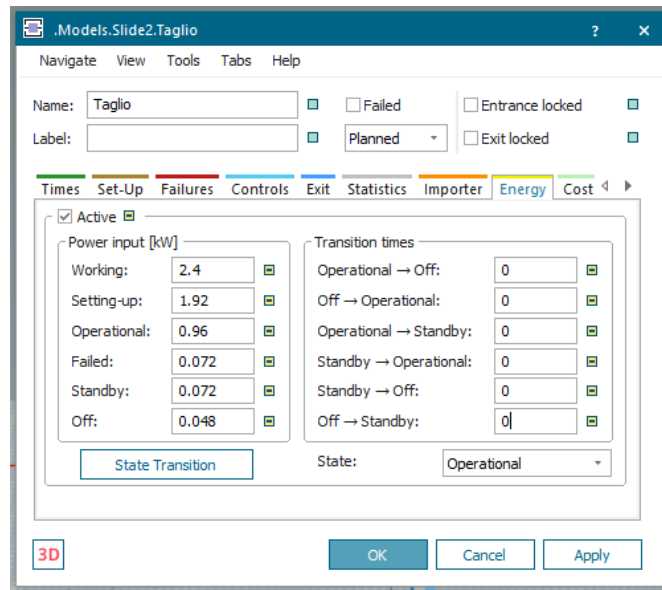


Figura 96: Finestra di dialogo dei consumi energetici

Sono stati utilizzati i valori di targa; su questi, sono state fatte delle valutazioni sui consumi effettivi durante il ciclo: non essendo stato possibile fare una misura puntuale dei consumi durante l’uso delle attrezzature, è stata fatta una stima ipotizzando il consumo di ciascuno stato come una percentuale del consumo totale.

In altre parole:

- “*Working*” (potenza erogata dal macchinario mentre sta lavorando un’entità): 100%;
- “*Setting-up*” (potenza spesa dal macchinario durante i periodi di set-up, in cui lo si attrezza per accogliere una nuova entità): 80%;
- “*Operational*” (potenza erogata dal macchinario quando esso, anche se operativo, è in attesa di un’entità da lavorare): 40%;
- “*Failed*” (potenza consumata quando il macchinario è soggetto ad un guasto): 3%;
- “*Standby*” (potenza erogata quando il macchinario è in pausa): 3%;
- “*Off*” (potenza consumata quando il macchinario è spento): 2%.

Allora, i dati inseriti sono i seguenti:

STAZIONE	STATO					
	<i>Working</i>	<i>Setting-up</i>	<i>Operational</i>	<i>Failed</i>	<i>Standby</i>	<i>Off</i>
TAGLIO	2,40kW	1,92kW	0,96kW	0,072kW	0,072kW	0,048kW
SPACCATURA	1,50kW	1,20kW	0,60kW	0,045kW	0,045kW	0,030kW
PRE-INCOLLAGGIO	600W	480W	240W	18W	18W	12W
CUCITURA	750W	600W	300W	22,5W	22,5W	15W

Tabella 10: Dati energetici ipotizzati

Aperto l’ “*Energizer*” vengono visualizzati automaticamente in forma tabulare i risultati; si riporta dapprima il grafico risultante dal caso in cui venga seguito il piano ordini ed in seguito quello in cui i prodotti seguono il criterio randomico.

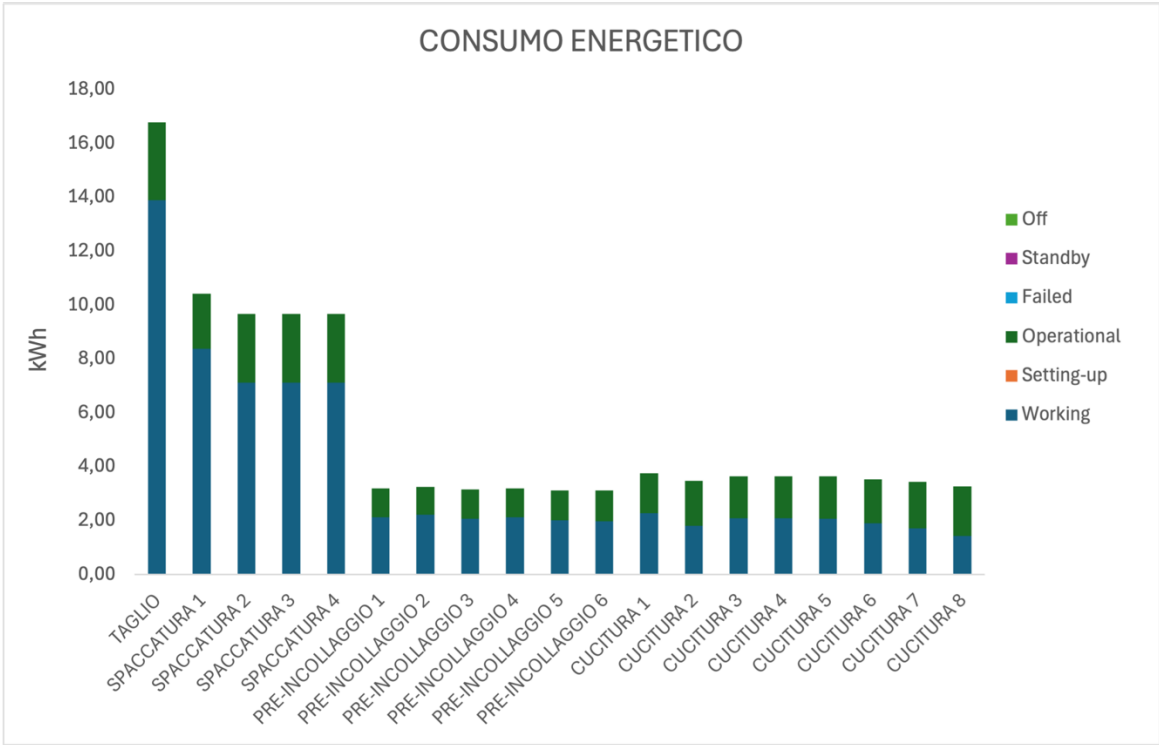


Figura 97: Consumo energetico Modello VARIANTI_ORDINI

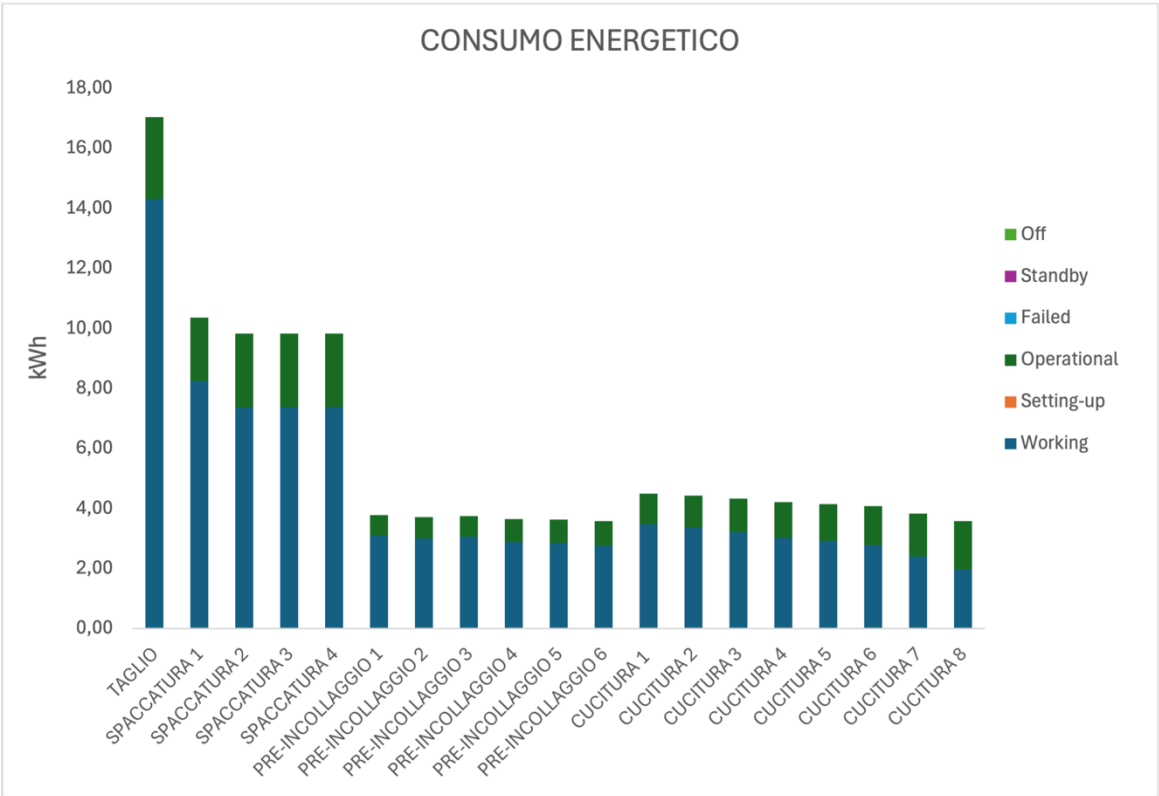


Figura 98: Consumo energetico Modello VARIANTI_RANDOM

Si vede che la fase della produzione che ha un impatto maggiore sui consumi totali è rappresentata dal taglio (macchinario con il valore di consumo di targa maggiore). Accanto a ciò è stato possibile stimare il picco dei consumi; questo consente di ottenere un dimensionamento di massima dei consumi dell'impianto durante le varie fasi del processo. In definitiva per progettare correttamente l'impianto e gestire il fornitore di energia è necessario che venga erogata una potenza di almeno 17kW.

Ponendosi nella condizione peggiorativa, rappresentata dal caso di produzione randomica, si procede con un'analisi economica correlata.

5.5.2 Analisi economica

I costi di acquisto dei diversi macchinari reperiti sono i seguenti:

- Macchina di taglio: 11.100€; [18]
- Macchina per spaccatura: 2.100€; [19]
- Macchina foratrice: 15.600€; [20]
- Macchina di pre-incollaggio: 3.700€; [21]
- Macchina da cucitura: 2.000€; [22]
- Macchina per lucidatura: 3.800€; [22]

I costi vengono inseriti nella finestra di dialogo della classe di appartenenza degli elementi:

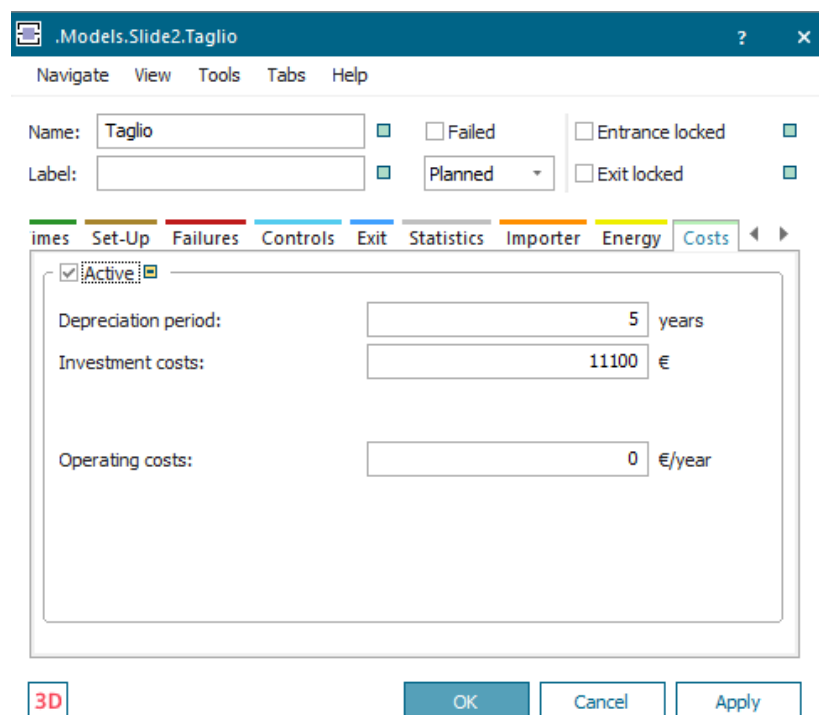


Figura 99: Finestra di dialogo dei consumi energetici

Analogamente a quanto visto per i consumi energetici, è possibile visualizzare un riepilogo esaustivo dei costi sostenuti per l'intera linea produttiva sottoforma di tabella sintetica che riporta il costo totale dell'intero impianto e le voci di costo per ciascun macchinario.

Si noti che in questo caso, essendo il numero di macchinari utilizzati per le varianti con piano ordini e randomico, lo stesso, non ci sarà variazione sui costi. Ciò è utile per visualizzare il totale dell'impianto.

Ovviamente per poter fare un'analisi economica a 360 gradi, bisognerebbe approfondire tale aspetto considerando accanto al prezzo di acquisto dei macchinari anche altri costi, quali il costo di esercizio orario della macchina e quello della manodopera.

Conoscendo il prezzo di vendita di ciascun prodotto, diventa possibile ipotizzare le tempistiche di rientro degli investimenti iniziali per l'acquisto dei macchinari.

Considerando i seguenti dati:

- Costo della materia prima: 65€ per tappeto di pelle di dimensioni di $2m^2$; [23]
- Costo totale dei macchinari: 139.800€ (dato reperito dal software);
- Costo dell'energia: 0,234 €/kWh;
- Costo di manutenzione pari a circa il 10% del costo del macchinario;
- Costo della manodopera: ipotizzato 25€/h per personale altamente specializzato (addetti alle stazioni di cucitura, controllo qualità e tintura), 20€/h per personale specializzato e 15€/h per addetti al solo trasporto.

Ovviamente questi dati devono essere dapprima elaborati al seguente modo:

- Costo della materia prima:
La quantità prodotta dall'intero impianto è di 291 unità. Di queste, 115 sono del tipo "Prodotto A", 146 sono del tipo "Prodotto B" e le restanti 30 sono del tipo "Prodotto C". Sapendo che ogni prodotto ha dimensioni differenti (*Tabella 7*), si vede che un solo prodotto della tipologia A necessita di un tappeto di $0,12m^2$ di superficie, un solo prodotto del tipo B necessita di una superficie di $0,09m^2$ ed infine, un unico prodotto "Portafoglio" richiede invece una superficie di $0,02m^2$. Moltiplicando per il numero di unità lavorate rispettivamente e sommando, si ottiene che per l'impianto produttivo in questione, sono necessari circa $28m^2$ di pelle; il che significa che vengono utilizzati 14 tappeti di pelle. Si considera una correzione dovuta al fatto che non è possibile sfruttare tutta la superficie del tappeto, in quanto procedendo con il taglio, parte di esso andrà perso. Allora, si stima l'acquisto di $30m^2$ e cioè di 15 tappeti di pelle. In definitiva, il costo totale della materia prima è di 975€.
- Costo totale dei macchinari:
Considerando un ammortamento di 5 anni, il costo annuo dei macchinari è di 27.789€/anno. Tuttavia, si assume che i giorni lavorativi durante l'anno siano pari a 250. Di conseguenza, il costo dei macchinari ricavato sul giorno e riferito poi alle 9 ore di simulazione equivale a circa 42€.
- Costo dell'energia:
Il numero di kWh totali derivanti dall'analisi energetica della simulazione (*Paragrafo 5.5.1*) è di 106,58 kWh. Moltiplicando questo risultato per il costo dell'energia risulta un consumo di 25€.
- Costo di manutenzione:
Il 10% del costo totale dei macchinari ripartito per le 9 ore di simulazione corrisponde a 4,20€.
- Costo della manodopera:
Nel caso di personale altamente specializzato si ha un numero di risorse pari a 11; moltiplicando tale valore per il costo orario e per le ore di simulazione si ottiene un risultato di 2475€.

Il personale addetto alle altre fasi lavorative è in numero pari a 44; il costo totale è dunque di 880€.

In ultimo, il costo relativo alle 4 risorse che si occupano del solo trasporto è di 60€.

In totale il costo legato alla manodopera è di 3415€.

In definitiva, sommando tutti costi si ottiene che per l'impianto produttivo progettato si ha un consumo di 4.461€, calcolato per un unico turno lavorativo.

6. Analisi dei risultati

Si riporta in breve quanto già anticipato nel *Capitolo 5*, a partire dai risultati estrapolati dal software di simulazione:

REPARTO	SCENARIO				
	AS-IS	TO-BE_1	TO-BE_2	VAR._ORD	VAR._RAND
	Saturazione media				
TAGLIO	53%	100%	100%	75%	61%
SPACCATURA	98%	98%	98%	58%	56%
FORATURA	98%	97%	98%	54%	57%
KITTING	20%	39%	39%	47%	36%
PRE-INCOLLAGGIO	55%	88%	83%	61%	85%
CUCITURA	50%	86%	85%	54%	64%
ASSEMBLAGGIO FINALE	53%	77%	83%	64%	78%
CONTROLLO QUALITÀ	35%	69%	53%	51%	62%
LUCIDATURA	45%	60%	46%	12%	22%
TINTURA	0%	0%	0%	25%	10%
PACKAGING	34%	66%	45%	43%	54%

Tabella 11: Riepilogo saturazione media per reparti di ciascuna configurazione

I risultati salienti riguardo le percentuali di saturazione dei diversi macchinari sono i seguenti:

- La stazione di taglio nella configurazione AS-IS rappresentava il collo di bottiglia: il suo utilizzo è stato aumentato dal 53% ad almeno il 60% nelle configurazioni successive;
- Le stazioni di spaccatura, foratura e *Kitting* hanno mantenuto lo stesso comportamento in tutte le configurazioni: tutti i macchinari presentano saturazione pressoché costante;
- Per le stazioni di pre-incollaggio, cucitura e assemblaggio finale si è passati dalla configurazione AS-IS, in cui l'ultima stazione presenta saturazione nulla, alle configurazioni successive nelle quali anche quest'ultima presenta una buona saturazione;
- L'ultima stazione delle fasi di controllo qualità e *Packaging* inizialmente presentava saturazione molto bassa rispetto agli altri macchinari. Nelle configurazioni successive la saturazione media del reparto è aumentata in quanto è aumentato l'utilizzo dell'ultimo macchinario;
- Per la fase di lucidatura si osserva invece un andamento opposto al precedente, in cui il poco utilizzo dell'ultima stazione comporta un abbassamento generale della saturazione del reparto; ciò è dovuto all'aumento del numero di stazioni che passa da due a tre.

Accanto a ciò, è possibile valutare i diversi scenari in termini di:

1. Numero di pezzi prodotti;
2. Flusso produttivo;
3. Livello di automazione (*Paragrafo 1.2.1*).

In particolare, si vede che il numero di articoli che la linea produttiva è in grado di sviluppare (quantità di elementi presente nel magazzino dei prodotti finiti) è:

	SCENARIO				
	AS-IS	TO-BE_1	TO-BE_2	VAR_ORD	VAR_RAND
Quantità prodotta	107	210	245	232	291

Tabella 12: Riepilogo numero di pezzi prodotti per ciascuna configurazione

Tra i modelli di stabilimento monoprodotto, il Modello TO-BE_2 presenta una produzione maggiore, raggiungendo il massimo throughput. Mentre, per quanto riguarda la linea produttiva con più varianti di prodotto, si riesce ad ottenere una quantità di prodotti complessivamente comparabili con il modello di stabilimento monoprodotto: ciò consente di affermare che è stato ipotizzato un buon flusso produttivo in grado di lavorare più prodotti.

A partire dalla quantità di prodotti uscenti da ciascun modello di stabilimento, è possibile calcolare il flusso produttivo di ognuno di essi come rapporto tra il numero di pezzi prodotti ed il periodo di tempo considerato. Quest'ultimo lo si fa coincidere con il tempo di simulazione che si ricorda essere differente per i diversi scenari (pari ad otto ore nel caso di Modello AS_IS e Modello TO-BE_1, ed a nove ore invece nel caso di Modello TO-BE_2 e Modello VARIANTI). Si ottengono i seguenti risultati:

	SCENARIO				
	AS-IS	TO-BE_1	TO-BE_2	VAR_ORD	VAR_RAND
Flusso produttivo (prodotti/ora)	14	26	27	26	32

Tabella 13: Riepilogo flusso produttivo per ciascuna configurazione

Si nota, anche in questo caso, che la produttività più alta si ottiene nel caso di Modello TO-BE_2 e Modello VARIANTI, confermando quanto già in precedenza esposto.

Si analizza in ultima istanza il livello di automazione che per le diverse configurazioni fornisce i seguenti risultati:

	SCENARIO				
	AS-IS	TO-BE_1	TO-BE_2	VAR_ORD	VAR_RAND
Numero di operatori	41	55	58	59	59
Numero di stazioni	37	51	54	55	55
Livello di automazione	1,11	1,08	1,07	1,07	1,07

Tabella 14: Riepilogo livello di automazione per ciascuna configurazione

Si vede che in ciascuna configurazione si ottiene un valore maggiore dell'unità il che indica che si è di fronte ad un sistema manuale. Ciò è giustificato dal fatto che si stanno trattando prodotti che di per sé richiedono l'ausilio di una mano esperta. Tuttavia, si evince che dalla

configurazione TO-BE_1 in poi, si ha un sistema leggermente più automatizzato rispetto al caso AS-IS grazie all'introduzione dei *Conveyors*.

7. Conclusioni e prospettive future

A valle del lavoro di tesi svolto, in linea con quanto evidenziato nel *Capitolo 3*, si può affermare innanzitutto in modo del tutto generale che oggi le offerte da un software di simulazione di tipo “Digital Twin” come **Plant Simulation**, offrono un forte vantaggio competitivo per le aziende che lo impiegano a partire anche dalla fase di impostazione dei flussi dei processi produttivi e del layout degli stabilimenti. È stato infatti possibile valutare diversi scenari di una linea produttiva con a monte delle differenti ipotesi di base, in un tempo relativamente breve. Si pensi per assurdo che se l’impianto, così com’è stato pensato in origine, fosse stato realmente realizzato, non avrebbe potuto raggiungere la sua potenziale produttività massima e nel caso di modifiche successive, sarebbe stato molto più dispendioso sia in termini di tempo che di costi (rispetto ad esempio al solo acquisto della licenza software). Per di più, se l’impianto produttivo non fosse stato in grado di aumentare la produttività come ci si aspettava, ci sarebbero state ulteriori perdite. Dunque, la possibilità di simulare la linea produttiva e di valutarne i risultati costituisce sicuramente un vantaggio importante.

Nel caso in specie, si vede che partendo da un modello di impianto basato sul flusso produttivo reale, è stato possibile procedere all’ottimizzazione dello stesso, valutando diversi scenari. Infatti, il Modello AS-IS presenta una produttività più bassa rispetto agli altri modelli confermando che l’intera catena produttiva potesse essere ulteriormente migliorata.

Analizzando poi le diverse varianti, è stato possibile fare quante più ipotesi possibile, mostrando come la possibilità di ricreare il Plant su un software consenta di dare libero sfogo ad ogni eventuale idea di diversificazione della linea produttiva, partendo dall’incremento dell’automazione fino all’aumento del numero di varianti prodotte. Infatti, si è ottenuto un aumento di produttività, un aumento della quantità prodotta, un aumento del livello di automazione.

Oltretutto si pone ulteriore attenzione ai vantaggi derivanti dalla possibilità di valutare energia e costi: ciò consente all’azienda di disporre di prime stime; di conseguenza, sarà possibile anche valutare se l’azienda stessa è in grado di affrontare eventuali spese legate all’acquisto di nuovi macchinari.

In ultimo, immaginando delle prospettive future, si può affermare che sono ancora tante le potenzialità del software da indagare. A livello di impianto produttivo, si può pensare ad esempio a:

- Ulteriore aumento e diversificazione dei prodotti;
- Introduzione di robot;
- Valutazione dei Failures utilizzando funzioni di probabilità differenti (come ad esempio la funzione di Weibull, che viene utilizzata proprio per modellare il tempo fino al fallimento di molti diversi sistemi fisici);
- Eventuale ampliamento dello stabilimento.

Bibliografia

[1] Iuliano L. (2023/2024) – *Produzione assistita dal calcolatore*. Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione, Politecnico di Torino, inedito

[2] Calignano F. (2022/2023) – *Sistemi integrati di produzione*. Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione, Politecnico di Torino, inedito

[3] Strozzi Casadio M., Brun A., Massone L. (2023) – *Manuale del World Class Manufacturing: Guida alla governance, alla gestione ed all'applicazione degli strumenti per l'Operational and Company Excellence*. Esculapio, Bologna

[4] *PDCA: CICLO DI DEMING* – [online] Disponibile a:
<https://www.sistemieconsulenze.it/pdca-ciclo-di-deming/>

[5] *I pilastri del WCM [World Class Manufacturing]* – [online] Disponibile a:
<https://mynext.it/it/i-pilastri-del-wcm/>

[6] *Lean Plus WCM* – [online] Disponibile a:
<https://www.gsainternationalconsulting.com/lean-plus-wcm/>

[7] *Cost Deployment* – [online] Disponibile a:
<https://www.arena.it/single-post/cost-deployment>

[8] Salmi A. (2023/2024) – *Progettazione di processo con metodi numerici*. Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione, Politecnico di Torino, inedito

[9] *Simulazione della produzione* – [online] Disponibile a:
<https://www.indx.com/it/solution/manufacturing-plant-simulation>

[10] Baysan S., Kabadurmus O., Cevikcan E., Satoglu S.I., Durmusoglu M.B. (2019) – *A simulation-based methodology for the analysis of the effect of lean tools on energy efficiency: an application in power distribution industry*. Journal of Cleaner Production, 211, 895-908

[11] *Tecnomatix Plant Simulation* – [online] Disponibile a:
<https://team3d.it/product/tecnomatix-plant-simulation/>

[12] Piccinini A., Previdi F., Cimini C., Pinto R., Pirola F. (2018) – *Discrete event simulation output data-handling system in an automotive manufacturing plant*. *Procedia Manufacturing*, 25, 23-30

[13] *Modellazione di Processi Produttivi e Logistici con Tecnomatix Plant Simulation* – [online] Disponibile a:

<https://www.innovationpost.it/attualita/industria-4-0/modellazione-di-processi-produttivi-e-logistici-con-tecnomatix-plant-simulation/>

[14] Siemens (2023). *Plant Simulation: A Comprehensive Guide*. Siemens AG

[15] Siemens (2023). *Plant Simulation Help* – [online] Disponibile a:

https://docs.sw.siemens.com/en-US/doc/297028302/PL20230511801658226.PlantSimulation/Help_Start_Page

[16] Montomoli L., Coppola G., Sarrini D., Sartorelli P. (2011) – *Processo della pelle per la produzione di borse: studio organizzativo, identificazione generale dei pericoli, prevalutazione del rischio per sovraccarico biomeccanico mediante un nuovo strumento di valutazione di semplice applicazione*. *La Medicina del Lavoro*, 102, 1: 29-42

[17] Quali sono gli step per la lavorazione borse in pelle? – [online] Disponibile a:

<https://eliem.fashion/lavorazione-borse-in-pelle-quali-sono-gli-step/>

[18] Model: WS B for non-metals – Weni Solution – [online] Disponibile a:

<https://weni.eu/en/product/b-series/>

[19] SIMAC 801 – [online] Disponibile a:

https://www.grassomacchinepercucire.com/simac-801/?_gl=1*vddubq*_up*MQ*_ga*MTI2NjczODYzOC4xNzMwOTc4NjQx*_ga_GJ0591MZCR*MTczMDk3ODY0MS4xLjAuMTczMDk3ODY0MS4wLjAuMTUyOTQwMzI0NQ

[20] DURKOPP 581-321 – [online] Disponibile a:

<https://bianchimario.com/prodotto?id=1617>

[21] COMEL PLT 1250 – [online] Disponibile a:

https://www.grassomacchinepercucire.com/comel-plt-1250/?_gl=1*10t2iq*_up*MQ*_ga*MTI2NjczODYzOC4xNzMwOTc4NjQx*_ga_GJ0591MZCR*MTczMDk3ODY0MS4xLjEuMTczMDk3OTkwNy4wLjAuMTUyOTQwMzI0NQ

[22] JACK H6L – CZ-4 – [online] Disponibile a:
https://www.grassomacchinepercucire.com/jack-h6/?_gl=1*3wgz23*_up*MQ..*_ga*MTI2Njc2ODYzOC4xNzMwOTc4NjQx*_ga_GJ0591MZCR*MTczMDk3ODY0MS4xLjEuMTczMDk3OTE3OC4wLjAuMTUyOTQwMzI0NQ

[23] CONCIA VEGETALE – [online] Disponibile a:
https://buyleatheronline.com/it/home/41-8313-vitellini-vegetali-naturali-per-pelletteria.html#/1-colore-nero/74-scelta_qualita_migliore_1_scelta/276-dimensione_media_del-pezzo2_m_22ft_pelle_intera

Ringraziamenti

A conclusione di questo elaborato, desidero riservare uno spazio speciale sia alle persone che da sempre sono per me un punto di riferimento, sia a quelle che mi hanno accompagnato in questo percorso.

Un sentito ringraziamento va al mio relatore Luca Iuliano che mi ha seguito con disponibilità e gentilezza durante la stesura di questo lavoro. Ringrazio anche Luciano Massone e Marco Gobetto per aver creduto in me e per avermi dato la possibilità di svolgere questo progetto di tesi presso Accenture Outsourcing Srl. La mia gratitudine va soprattutto a Daniele Bassan, mio tutor aziendale, per la grande disponibilità e professionalità dimostratami in questi mesi di tirocinio formativo. Altrettanto importante è stato il supporto dei miei colleghi Carlo Mantovani e Vito Tramuto.

Il grazie più grande lo dedico alla mia famiglia. Accanto ai miei genitori ed a mio fratello, che sono la mia forza, non posso non ringraziare tutti i miei zii e cugini. Grazie non solo per avermi sostenuto con costanza e per essere sempre al mio fianco, ma soprattutto perché da sempre mi avete trasmesso il vero valore della parola “famiglia”, che è per me un porto sicuro dove trovare rifugio e non potersi mai sentire soli perché qualsiasi evento viene condiviso e affrontato insieme.

In particolare, ringrazio zia Lucia per i sacrifici che ha fatto per me e perché in questi anni ha saputo darmi conforto nei momenti difficili. Grazie per avermi spronato e dato sostegno.

Ringrazio Federica per essere ormai da lunghi anni la mia amica più leale, sempre pronta a starmi accanto, strapparmi un sorriso e darmi consigli sinceri.

A Matteo che ormai considero come un fratello: grazie per essermi sempre stato accanto annullando la distanza che ci separa.

Un grazie va anche a Marco perché durante le serate passate assieme, mi ha sempre riportato alle mie radici melfitane quando l’aria torinese prendeva il sopravvento.

A Lorenza e Pra dico grazie per aver alleggerito questo percorso grazie ai sorrisi che mi hanno strappato tra una pausa e l’altra durante le lunghe giornate trascorse in aula studio.

Ringrazio anche Ben, Frà, Peppe, Luca e Lorenzo per avermi gentilmente concesso di far parte della quota rosa del loro gruppo inizialmente tutto al maschile. Non dimenticherò mai le serate e i momenti passati insieme.

Greta ed Elettra meritano un ringraziamento speciale per essere state le prime coinquiline che mi hanno insegnato a dare un significato diverso alla parola “casa”.

Ringrazio Vanessa che rappresenta ormai una sorella maggiore. Grazie per essere stata da subito mia complice: la condivisione, le risate e i momenti insieme li porterò sempre nel cuore.

In ultimo ringrazio Giulia che mi regala continuamente momenti di spensieratezza.

Vi voglio bene.