POLITECNICO DI TORINO

COLLEGIO DI INGEGNERIA MECCANICA, AEROSPAZIALE, DELL'AUTOVEICOLO E DELLA PRODUZIONE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
INGEGNERIA DELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE E DELL'INNOVAZIONE TECNOLOGICA

INTEGRAZIONE VALUE STREAM MAPPING E SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI

SUPERVISORE

Manuela De Maddis
Giulia Bruno

CANDIDATO

Andrea Annaratone

Anno accademico 2019 - 2020

Alla mia famiglia, ai miei amici e a tutte le persone che mi hanno aiutato nel portare a termine questa fantastica esperienza di vita.

INDICE

LEAN PRODUCTION *1*

I 7 sprechi **1**

Le tecniche della Lean Production **2**

Push vs pull **3**

Metodi di mappatura: Value Stream Mapping **4**

Simbologia VSM 6

SISTEMI A CODE *12*

Generalità **12**

Costo del tempo di attesa **13**

Prestazioni di un sistema a code **14**

Metodi per lo studio delle code **16**

SIMULAZIONE *18*

Elementi in un modello di simulazione **18**

Variabili di stato 18

Eventi 18

Entità 18

Risorse 18

Attività e ritardi 19

Classificazione dei modelli di simulazione **19**

Simulazione ad eventi discreti **20**

Cenni storici 20

Caratteristiche della simulazione ad eventi discreti 21

Studio di un problema tramite la simulazione 22

Applicazioni della simulazione di eventi discreti nel settore manifatturiero **25**

Applicazioni della simulazione ad eventi discreti nel settore dei servizi **26**

Nuove opportunità per simulazione ad eventi discreti **27**

FLEXSIM *28*

Modellazione 3D **28**

Flowitem 29

Fixed Resources 29

Task Executers 30

Porte 31

Process flow **32**

Token 32

Activity 33

Sub Process Flow 34

Shared Asset 35

Process flow Preemption 35

Flowchart 37

Labels 38

Triggers 39

Disponibilità delle risorse 40

Time tables 41

MTBF tables 42
Gestione dei dati tramite Global Tables 42
Dashboard 43
Experimenter 45

INTEGRAZIONE VALUE STREAM MAPPING E SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI 46

Caso studio VSM: supporto IVSM e VNM 46
Introduzione teorica 46
La classificazione dei dati: le 3 categorie 47
Metodi di mappatura 48
Approccio della raccolta dati 49

Caso specifico: Ruag space group 50
Ricerca prodotto da selezionare 50
Struttura della distinta base 51
Selezionare il prodotto per la mappatura 51
Analisi ad alto volume 52
Matrice P-P 52
Interviste 53
Current State Map (CSM) 53
Classificazione dei dati 54
Conclusione 54

Caso studio: VSM dinamica 55
Introduzione teorica 55

Caso studio specifico: azienda metallurgica 56
Individuazione Prodotto 56
Selezione del prodotto - Gancio ABC Sospensione LV 57
Raccolta dati 57
Current State Map (CSM) 58
Sviluppo del modello di simulazione 58
Future State Map (FSM) 60
Conclusioni 62

Caso studio: ABC Limited 63
Introduzione all'azienda 63
Problemi affrontati 63
Current State Map 63
Simulazione ad eventi discreti CSM 66
Future state Map 69
Simulazione ad eventi discreti FSM 71
Nuovi scenari di simulazione 74
Conclusioni 83

CONCLUSIONE: VSM E DES A CONFRONTO 84

Vantaggi e svantaggi della Value Stream Mapping 84

Vantaggi e svantaggi della simulazione 85

APPENDICE 87

Current State Map 87
Tabelle riassuntive 87
Scenario 1 88
Scenario 2 89
Scenario 3 89
Scenario 4 90
Scenario 5 90

Scenario 6.....91
Scenario 7.....91
Scenario 8.....92
Scenario 9.....92
Scenario 10.....93
Scenario 11.....93
Scenario 12.....94
Scenario 13.....94
Scenario 14.....95
Scenario 15.....95
Scenario 16.....96

Future State Map.....97
Tabelle riassuntive.....97
Scenario 1.....98
Scenario 2.....99
Scenario 3.....99
Scenario 4.....100
Scenario 5.....100
Scenario 6.....101
Scenario 7.....101
Scenario 8.....102
Scenario 9.....102
Scenario 10.....103
Scenario 11.....103
Scenario 12.....104
Scenario 13.....104
Scenario 14.....105
Scenario 15.....105
Scenario 16.....106

BIBLIOGRAFIA*.....*107

ABSTRACT

Durante gli ultimi anni le aziende si stanno evolvendo sempre più velocemente per cercare di far fronte al continuo mutamento della domanda in termini di quantità, personalizzazione e qualità del prodotto. Per affrontare queste richieste, le aziende stanno implementando la Lean Production al loro interno per limitare i costi e allo stesso tempo rimanere competitivi sul mercato. Una delle tecniche più diffuse della filosofia Lean è la Value Stream Mapping (VSM), la quale permette di mappare il flusso di valore del prodotto ed allo stesso tempo consente di individuare possibili problemi e sprechi da eliminare (Muda).
Parallelamente a questa tecnica si sta creando sempre maggiore spazio uno strumento in continua evoluzione, la simulazione ad eventi discreti (DES). Quest'ultima sta trovando sempre maggiori applicazioni grazie ai miglioramenti continui dei software che la supportano. Grazie alla possibilità di inserimento della variabilità del sistema, questo strumento consente di creare dei modelli di simulazioni che rispecchiano a pieno i modelli di produzioni reali.
In questo elaborato vengono introdotte queste due tecniche le quali vengono esplicate a partire dalla loro storia, passando alla loro introduzione teorica e fino ad arrivare all'applicazione in casi di studi concreti.
Inoltre, viene presentato anche un software specifico per la simulazione ad eventi discreti, Flexsim, con il quale è stata effettuata una delle simulazioni dei casi di studio implementando un modello dalla partenza.
La simulazione ad eventi discreti e la VSM risultano essere metodi efficaci per il miglioramento delle linee produttive e possono essere applicati insieme, utilizzando la VSM come strumento di raccolta di dati per la simulazione. Tuttavia, grazie alla maggiore flessibilità, è possibile riscontrare che la simulazione è uno strumento di maggiore potenza e con un campo di applicazione superiore rispetto alla VSM.
La simulazione ha la possibilità di essere implementata ancora in molti campi oltre a quello manifatturiero e quello dei servizi, ma sarà necessario implementare maggiormente i software ed effettuare ulteriori studi a riguardo.

LEAN PRODUCTION

Negli ultimi anni un approccio che viene sempre più seguito dalle aziende, le quali vogliono ottimizzare i propri processi produttivi e rendersi più competitivi sul mercato, è quello della filosofia Lean. Questo approccio è stato reso famoso nel mondo grazie alla Toyota la quale ha posto le basi di questo stile di pensiero attuando alcune politiche aziendali rivoluzionarie all'interno di tutti i suoi livelli aziendali.

I 7 sprechi

I capisaldi della Lean Production, o Lean Manufacturing, sono fortemente legati alla possibilità di un miglioramento continuo ("Kaizen") dei processi produttivi e organizzativi aziendali attraverso l'eliminazione degli sprechi i quali sono stati racchiusi in 7 categorie principali.

Le ragioni di spreco all'interno di un'azienda identificate dal sistema di produzione sono le seguenti:

- eccesso di attività: realizzare attività che non producono valore;
- movimento: spostarsi per raggiungere materiali lontano dal punto di utilizzo;
- difetti: produrre scarti o rilavorazioni;
- scorta: acquistare o produrre materiali in eccesso rispetto al fabbisogno del processo successivo;
- eccesso di produzione: produrre più di quanto richiesto dal cliente o dal processo successivo;
- attesa: impiegare il tempo in maniera non produttiva;
- trasporto: spostare il materiale senza necessità connesse alla creazione del valore.

Per ottenere un sistema funzionale e funzionante utilizzando questo genere di filosofia aziendale è stato necessario definire delle linee guida (5 principi-guida):

- Definire il valore dal punto di vista del cliente, ovvero per cosa il cliente è veramente disposto a pagare.
- Identificare il flusso di valore, identificare l'insieme di azioni che portano a realizzare il prodotto o il servizio.
- Flusso continuo di tutte le attività, tutto deve realizzarsi per processi e non per funzioni, senza soste o interruzioni.
- Impostare le attività secondo la logica "pull" e non "push", ovvero realizzare un'attività solo quando il processo a valle lo richieda.
- Perseguire la perfezione tramite continui miglioramenti (KAI= cambiamento, miglioramento e ZEN = buono, migliore).

Un altro aspetto fondamentale è il cambiamento della struttura aziendale, la quale deve passare da un sistema gerarchico ad uno maggiormente bilanciato e "appiattito", cercando così di rendere tutti partecipi e coinvolti nel clima aziendale in modo tale da rendere l'ambiente lavorativo collaborativo ed adatto ad un miglioramento continuo.

Le tecniche della Lean Production

Per poter attuare questo genere di filosofia industriale nelle aziende, vengono applicate diverse tecniche sul piano sia organizzativo che produttivo le quali vengono soprannominate "Tecniche Lean ", come la filosofia dalla quale nascono. In parallelo alle nuove esigenze di produzione e di mercato alle quali sono sottoposte le aziende, questi strumenti hanno guadagnato sempre maggiore rilevanza nel corso degli ultimi anni. Utilizzando questi metodi si può arrivare, se applicati correttamente e nelle situazioni in cui è idonea la loro applicazione, ad una sostanziale riduzione degli sprechi aziendali tra cui energia, risorse e denaro. Senza dubbio il beneficio maggiore che comporta l'utilizzo di queste tecniche è la flessibilità aziendale, un aspetto fondamentale nell'industria 4.0 perché permette l'adattamento alle esigenze del mercato.

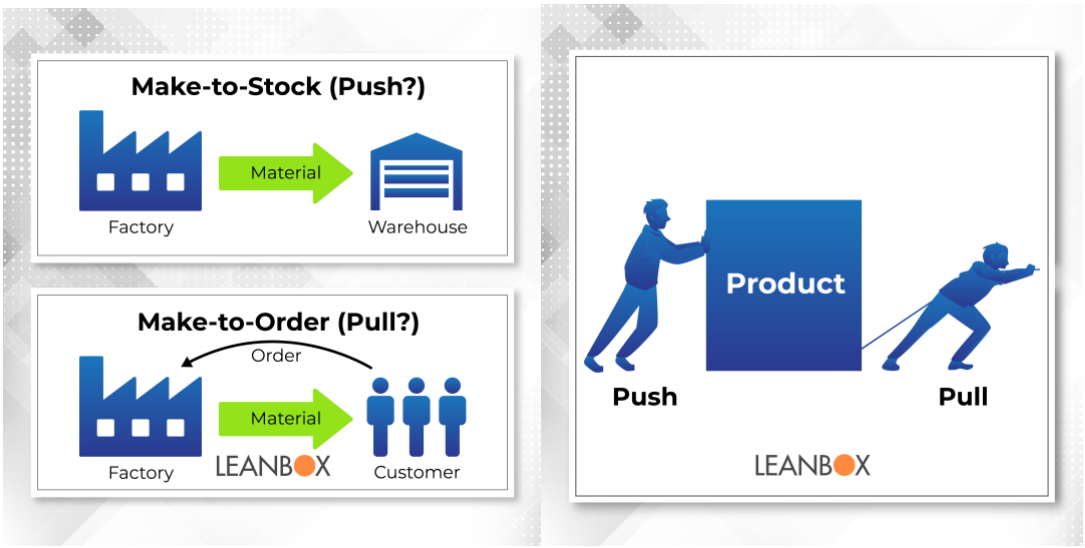
Le principali sono citate qua:

- Pull approach (metodo pull).
- Metodo Kanban.
- 5s e lavoro standardizzato:

  Standardize, Shine, Sort, Set in order, Sustain.
- JIT (Just in time).
- SMED (Single Minute Exchange of Die).
- TPM (Total Productive Maintenance).
- Poka Yoke (Sistema visivo per il riconoscimento rapido tramite colori).
- VSM (Value Stream Mapping).

Push vs pull

Uno degli aspetti fondamentali della Lean Manufacturing è l'applicazione di uno stile produttivo di tipo Pull rispetto a quello di tipo Push.
Molto spesso questi due generi di produzione vengono erroneamente definiti utilizzando i termini "make-to-stock" e "make-to-order", ovvero uno viene identificato nel produrre per fare magazzino (push system) e l'altro nel produrre quando è presente un ordine da parte di un cliente (pull system). Tuttavia, queste definizioni sono troppo estreme per definire questi modelli di produzione.



Una differenza sostanziale tra questi due sistemi, Push e Pull, non può essere fornita solamente dal metodo di pianificazione della produzione. Spesso la produzione Push viene concepita attraverso la pianificazione delle attività produttive in base alla previsione di mercato, mentre la produzione Pull implica che la produzione sia effettuata sulla base degli ordini reali del cliente.
È necessario fare attenzione anche per quanto riguarda il flusso di informazioni, spesso si pensa erroneamente che la direzione delle informazioni sia fondamentale, infatti, teoricamente il sistema Push ha un piano logistico centrale mentre il pull ha un flusso informativo opposto a quello del materiale. Tuttavia, un sistema logistico centrale ha bisogno di informazioni per programmare le sue funzioni. Le attività e queste informazioni vengono acquisite dalle domande dei clienti, perciò la differenza citata precedentemente è errata.
La differenza principale tra questi due concetti produttivi viene data da Hopp e Spearman, i quali dicono che un sistema di produzione pull è un sistema che limita esplicitamente la quantità di lavoro in processo (WIP limitato) che può essere presente nel sistema. Un sistema di produzione push è un sistema che non ha un limite esplicito sulla quantità di lavoro in processo che può essere nel sistema.

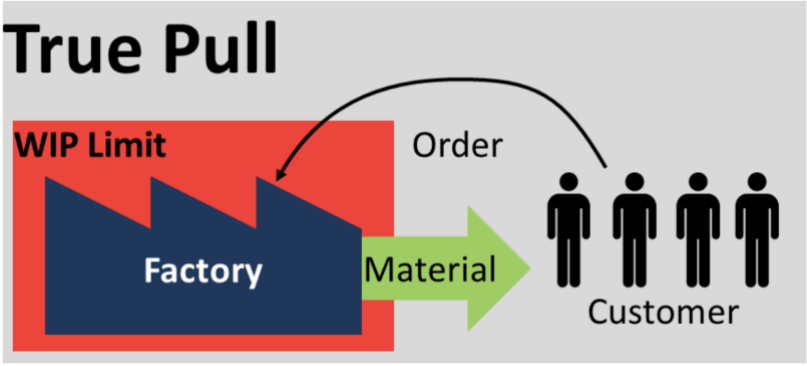


Figura 1: Semplificazione grafica Pull

Perciò sulla base di ciò, è possibile affermare che in un vero sistema pull è presente un limite superiore per il work in process (WIP). Un ottimo esempio per comprendere se una tecnica porta un sistema verso il tipo Pull è quello del kanban. Infatti, quest'ultima tecnica, se ben eseguita, porta ad imporre un limite superiore fisso sul lavoro in stabilimento, poiché non si può avere maggiore quantità di materiale rispetto a quello descritto sulla scheda kanban. [9]

Metodi di mappatura: Value Stream Mapping

La Value Stream Mapping è un metodo di visualizzazione grafica la quale venne implementata, come la maggior parte degli strumenti appartenenti alla Lean Production, dagli ingegneri Toyota nel corso degli anni '80. Questo è uno dei principali metodi di mappatura del flusso di valore di sistemi lineari (e poco complessi) tra le tecniche Lean.
Per Value Stream Mapping, quindi, si intende la mappatura grafica del totale di attività e di processi che concorrono alla realizzazione di un prodotto, partendo direttamente dal fornitore, percorrendo tutta la linea produttiva di valore e arrivando alla consegna del prodotto finito.
Il focus principale su cui si basa questa analisi della catena di valore non è il miglioramento del singolo processo, ma l'ottimizzazione globale e continua.

Le tipologie principali di mappatura del processo tramite Value Stream Mapping sono due:

- Current State Map (mappatura dello stato attuale): descrive la situazione del prodotto nel flusso del valore.
- Future State Map (mappatura dello stato futuro): indica il modo in cui si vuole vedere successivamente il prodotto all'interno del flusso di valore.

Per quanto riguarda gli obiettivi di questo metodo di mappatura sono i seguenti:

- Focalizzazione sul flusso e non sul singolo processo.
- Ricerca delle cause di spreco all'interno del flusso.
- Ogni parte organica aziendale deve essere in grado di poter leggere il flusso, perciò vanno forniti gli strumenti adeguati alla lettura di esso.
- Visualizzazione degli aspetti positivi del flusso, i quali portano ad una buona efficienza di processo.
- Implementazione di un sistema fondato sulla filosofia della Lean Production.

Per riuscire ad applicare in maniera efficace ed efficiente la VSM è necessario utilizzare e trovare i principali indicatori i quali sono parte della filosofia Lean:

- Takt time.
- Flusso continuo.
- Supermarket (a kanban) dove risulta impossibile ottenere un flusso continuo.
- Schedulare tutta la produzione riferendosi ad una sola fase del processo detta Pacemaker.
- Livellare il mix evitando picchi dello stesso articolo.
- Livellare i picchi di volume.
- Sviluppare la capacità di produrre tutto il mix nell'unita di tempo.
- Livellare il mix evitando picchi dello stesso articolo.
- Livellare i picchi di volume.
- Sviluppare la capacità di produrre tutto il mix nell'unita di tempo.

Per quanto riguarda la progettazione dei processi e la pianificazione della produzione è molto importante la gestione del flusso di valore. Questo strumento prevede l'utilizzo della VSM la quale permette la visualizzazione dei flussi di materiali e di informazioni. In questo modo è possibile avere una mappa aziendale sotto controllo ed eventualmente pensare a delle modifiche per migliorarne l'efficienza. Questo sistema è un sistema fortemente centrato al raggiungimento degli obiettivi, infatti utilizza la tecnica Kaizen del miglioramento continuo per poter migliorare costantemente gli output aziendale e limitarne gli sprechi.
[4]

Simbologia VSM

La mappatura dello stato corrente di un processo produttivo viene eseguita utilizzando una serie di semplici icone unificate predisposte allo scopo, in grado di rappresentare sia flussi fisici che flussi di informazioni del sistema di pianificazione della produzione (per esempio un sistema MRP).

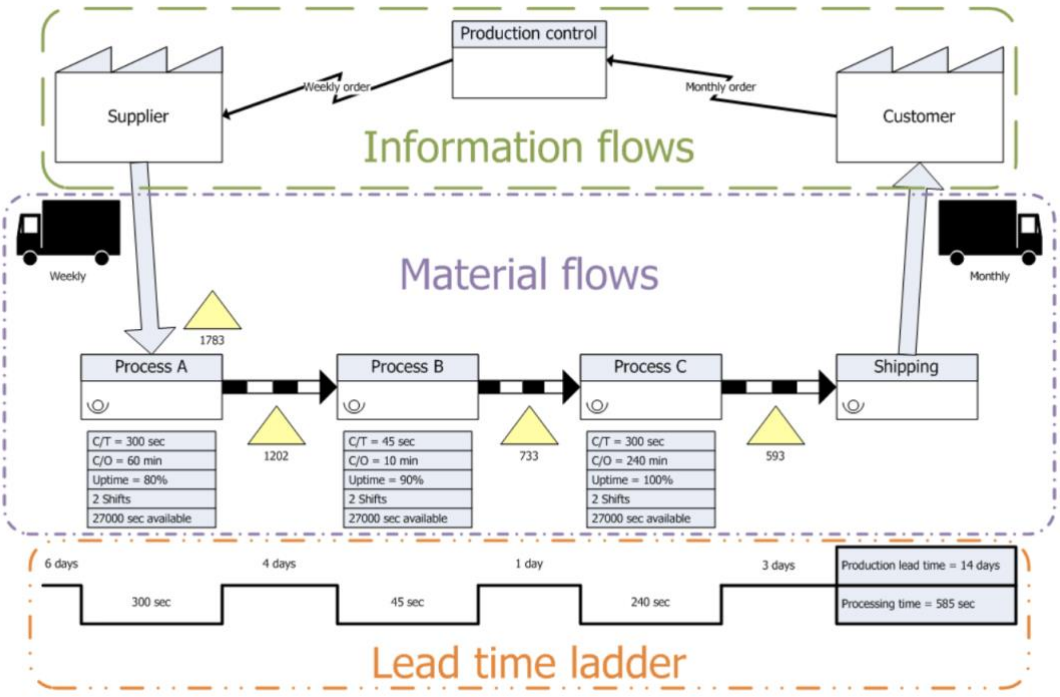


Figura 2: Esempio VSM con suddivisione delle aree

Come è possibile osservare dalla figura 2, la VSM è divisa in 3 macroaree di mappatura:

- Information flow, il flusso di informazione comprende tutte le informazioni che si muovono al di fuori della linea produttiva, le quali servono per pianificare la produzione.
- Material flow, il flusso di materiale comprende tutto il percorso che effettua il materiale partendo dall'arrivo fino alla sua consegna al cliente.
- Lead time ladder, è la scala dei tempi con la quale è possibile visualizzare quali sono i tempi di processo nelle varie macchine e i vari tempi di attesa in coda.

Factory

Questo simbolo rappresenta le risorse esterne, infatti viene utilizzato per mostrare il fornitore, il cliente e i processi esterni di processi industriali.

- Stabilimento Fornitore.
- Stabilimento cliente/distributore.
- Processi produttivi esterni.

Factory + data box

La data box viene posta sotto all'icona factory, in questo modo possono essere visualizzate informazioni relative a:

- Frequenza delle spedizioni per ogni turno.
- Informazioni sul materiale che viene movimentato.
- Dimensioni del lotto acquistato.
- Domanda media per un periodo.

Nel caso di fornitori si possono inserire dati quali:

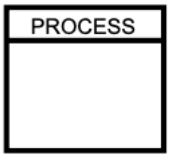
- Numero pezzi/giorno.
- Tray (capacità dei pallet, cassoni prodotti).
- On Time Delivery.

Nel caso di clienti:

- Numero di prodotti ordinati/giorno.
- Fatturato.
- One Time Delivery.

Nel caso di servizi, i concetti sono simili, resta solo da individuare le apposite misurazioni.

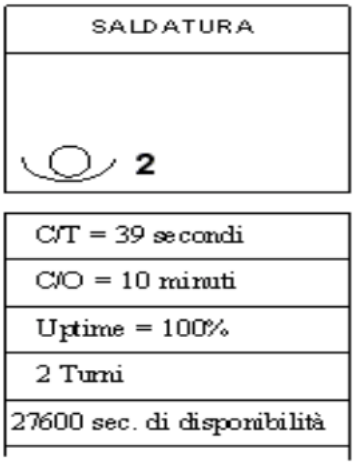
Manufacturing Process Box



Questo simbolo viene utilizzato per i vari processi produttivi e contiene informazioni riguardanti a:

- Una Macchina.
- Un Processo.
- Uno Stabilimento.
- Un operatore.

Manufacturing process box + data box



Sotto il simbolo del processo produttivo solitamente si posiziona il cosiddetto "data box" nel quale si evidenziano i dati più importanti del processo stesso come:

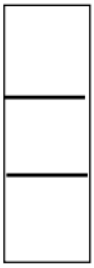
- Il tempo ciclo (C/T), ovvero il tempo che viene impiegato da una macchina/ stazione di lavoro/operatore ad eseguire il lavoro.
- Il tempo di set-up, ovvero il tempo che viene impiegato da una macchina/ stazione di lavoro/operatore per preparare una macchina alla lavorazione.

- le unità prodotte nel giorno o per turno, ovvero il numero di pezzi che vengono prodotti da quella specifica macchina in un determinato periodo di tempo.
- La disponibilità della macchina, ovvero la percentuale data dalla relazione tra il tempo medio tra guasti e il tempo medio di riparazione.
- I tempi morti o di attesa.
- Le unità rilavorate o lo scarto, ovvero la percentuale di pezzi che necessitano una rilavorazione su quella macchina oppure i pezzi che in cui si riscontrano problemi e che perciò vanno eliminati.

Inventory box

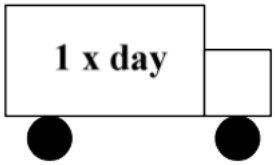
Il simbolo di Inventory Box visualizza l'accumulo di prodotti tra un processo e l'altro. L'inventario può essere espresso in termini di WIP o di tempo, mentre nei servizi e negli uffici può essere inteso come pratiche giacenti, e-mail da evadere, preventivi da emettere, ecc. Tradizionalmente l'icona è un triangolo, in quanto rappresenta un pericolo rilevante in termini di spreco, ma tuttavia è necessario tenere conto del fatto che un alto numero di scorte in magazzino permette di aumentare considerevolmente la flessibilità del sistema.

Safety Stock



Questa icona rappresenta la presenza di scorte volontarie ed è necessario effettuare la distinzione dall'accumulo (involontario) di WIP generato dal sistema produttivo.

*T*ruck shipment



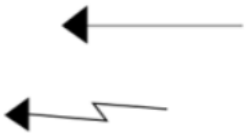
Rappresenta la tipologia di trasporto adottata, internamente si riporta la frequenza di approvvigionamento e/o consegna.

Raw materials / finished god

Rappresenta:

- Il movimento di materie prime dai fornitori.
- Il movimento di prodotti finiti ai clienti.

Information flow



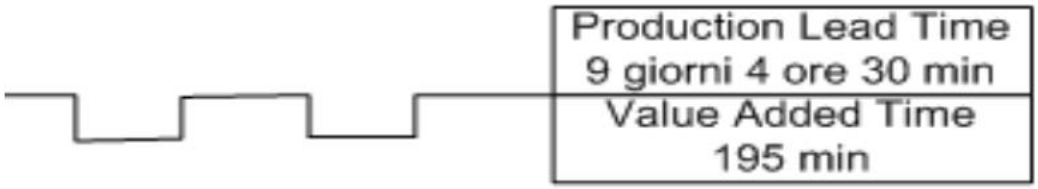
Questa icona indica:

- I flussi informativi (fax, e-mail, telefono).
- I flussi informativi elettronici.

Operatore

Indica il numero di operatori necessari ad effettuare l'operazione in questione.

Time line



Il segmento dei tempi riporta il Lead Time complessivo dato dalla somma dei tempi di lavorazione, di movimentazione e di attesa in coda. La linea bassa significa che il prodotto è all'interno della fase, e verrà impiegato per diverso tempo (è il tempo in cui il prodotto è lavorato sulla macchina= Value Added Time). Nella parte alta della linea sono indicati i tempi di permanenza corrispondenti a quel livello di scorte.

SISTEMI A CODE

Per implementare i processi decisionali è necessario non solo l'utilizzo di metodi della Lean Production, come la VSM, citati precedentemente. Può essere necessario studiare il modello di produzione aziendale con le relative variabili che influenzano il sistema stesso.

I sistemi a code sono prevalenti nella società attuale e nella maggior parte dei sistemi produttivi, pertanto in questo capitolo verranno descritti gli elementi che li compongono, le caratteristiche e le misure che tipicamente ne esprimono il comportamento.

Comprendere il funzionamento dei sistemi a code è fondamentale per risolvere problemi legati al processo decisionale di produzione e, di conseguenza, per analizzarne i modelli simulativi.

Generalità

Qualunque sistema di produzione, che sia di beni di consumo che di servizi, ha il suo fulcro nei fenomeni di attesa. Questi fenomeni si possono incontrare durante la richiesta di un servizio o di un bene e nei loro rispettivi processi, come l'arrivo in coda, l'attesa e il processo di servizio.

Queste code iniziano ad esistere in due situazioni:

- Nel momento in cui la domanda del bene o servizio è superiore alla capacità produttiva massima del sistema in questione, viene a formarsi una situazione fortemente instabile nella quale si creano dei processori colli di bottiglia (ovvero con un utilizzo che tende al 100%). Questi di conseguenza generano code che hanno una crescita indefinita e continua nel tempo.
- A causa della variabilità dei tempi di processo, anche se il sistema può soddisfare e reggere i ritmi richiesti, si possono formare delle code variando i tempi delle macchine. Questo genere di code sono temporanee nel sistema e si formano nonostante l'utilizzo della macchina non sia massimo.

Parlando di sistemi industriali di produzione, i sistemi a code hanno al loro interno tre entità fondamentali:

- Parti, ovvero qualsiasi entità che necessita di un servizio, come persone, oggetti, ordini, ecc.
- Processori, ovvero qualsiasi entità che generi un servizio o una lavorazione, come macchinari commessi, ecc.
- Code, sono ciò che si viene a formare nell'area successiva al processore, ovvero un'area apposita per parti in attesa di essere processate.

L'interazione tra questi tre elementi forma e definisce il comportamento del sistema.

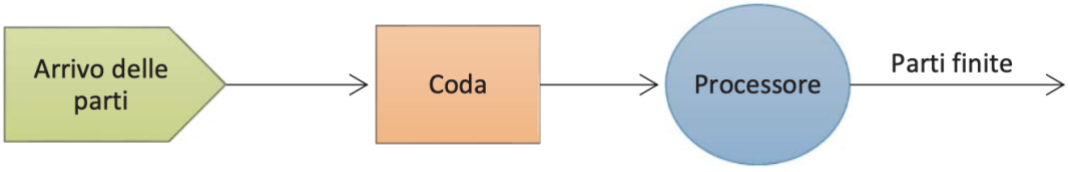


Figura 3: Elementi di un sistema a code di base

Un concetto fondamentale per la misura delle performance di un sistema è il Lead time, ovvero il tempo che intercorre tra una richiesta del cliente ed il soddisfacimento di essa. Matematicamente è dato dalla somma dei tempi di processo e dei tempi di attesa.

In un sistema a code è necessario definire il modello di arrivo che rappresenta il modo nel quale le parti entrano nel processore e il modello secondo il quale il processore esegue la lavorazione. Lo schema di arrivo è definito in termini di intervalli di tempo tra due arrivi successivi di parti nel sistema (tempi di inter-arrivo). Lo schema di processo è specificato in termini di tempo di processo, cioè il tempo necessario al processore per eseguire la lavorazione. Questi generi di modelli possono essere di tipo deterministico oppure possono essere determinati da una variabile aleatoria (di cui si è a conoscenza della distribuzione di probabilità).

Utilizzando un sistema a code si deve specificare l'ordine rispetto al quale bisogna lavorare le parti. I principi più comuni utilizzati sono:

- FIFO (first in first out), ovvero si lavorano le parti in ordine di arrivo.
- LIFO (last in first out), ovvero si lavora l'ultima parte che è arrivata nel sistema.
- SIRO (service in random order), ovvero si lavorano le parti in ordine casuale, senza un criterio preciso.
- Possono essere stabilite anche delle classi di priorità per le parti e si possono di conseguenza seguire queste per l'ordine di lavorazione nel sistema.

Costo del tempo di attesa

Come in ogni situazione lavorativa i tempi di attesa equivalgono a costi. Ogni processo genera tre differenti tipi di attese:

- Tempo di attesa del cliente. Questo è il tempo di attesa maggiormente costoso, infatti ogni azienda ha come obiettivo la riduzione di questo tempo per soddisfare pienamente il cliente.
- In ordine di importanza, il tempo di attesa dei prodotti è il secondo per importanza. Esso comprende il tempo che il di percorrenza del prodotto nelle varie fasi del sistema (si pensi al materiale grezzo o finito che giace nei magazzini).
- L'ultimo per importanza è il costo di attesa delle macchine. Questo è legato ai costi di inattività delle macchine ed è elevato nel caso di macchine costose.

Conoscendo il peso che ogni tempo di attesa ha sul costo totale è possibile determinare il costo ottimo del tempo di attesa totale.
Quando uno di questi costi varia si ha un impatto anche sugli altri tipi di costi, infatti quando si vuole ridurre uno di questi tempi si deve affrontare un "trade-off" tra questi fattori temporali.
Questo è il motivo per cui è molto importante comprendere le dinamiche del sistema e analizzare le variabili corrette.

Prestazioni di un sistema a code

In un'azienda utopistica tutte le parti di un processo di produzione funzionano perfettamente e hanno gli stessi tempi di processo, ma nelle aziende manifatturiere reali è sempre presente almeno una lavorazione più lenta rispetto alle altre. Se queste lavorazioni sono notevolmente più alte a livello di tempo possono creare dei colli di bottiglia i quali creeranno dei ritardi sull'intera linea. Risulta perciò necessario identificare questi possibili colli di bottiglia in ottica di migliorare le performance produttive.

Vi sono diversi metodi per individuare i colli di bottiglia:

Attraverso l'aumento delle code: questo è il metodo più semplice e che risulta essere il più immediato. Nel momento in cui si accumulano delle code all'interno del sistema è possibile ritrovare un collo di bottiglia subito dopo la coda con il contenuto maggiore di pezzi in attesa. Nelle situazioni in cui si presentano più code di dimensioni considerevoli e stabili è necessario utilizzare altre tecniche per identificare il collo di bottiglia critico.

Attraverso il throughput: attraverso l'analisi del throughput, ovvero l'output medio nell'unità di tempo, è possibile individuare un collo di bottiglia. Questo perché il throughput di una macchina se viene aumentato ha scarso effetto sulle performance della linea se questa macchina non è un collo di bottiglia.

Attraverso la capacità: tiene traccia dell'utilizzo percentuale di ciascuna unità di produzione. Un'unità o una macchina ha una capacità fissa e il processo di produzione utilizza ciascuna macchina in percentuale rispetto alla sua piena capacità. Il macchinario che utilizza la percentuale più alta della propria capacità è il collo di bottiglia. Di solito, questa macchina funziona a pieno regime mentre funziona come collo di bottiglia e limita le altre unità di produzione ad un tasso di utilizzo della capacità inferiore. Allo stesso modo se si aumenta la capacità della macchina del collo di bottiglia, la capacità dell'intera linea di produzione aumenta.

Attraverso i tempi di attesa: a volte, molte delle unità di una linea di produzione funzionano a capacità elevate e per trovare il collo di bottiglia è necessario un metodo diverso. Di solito il processo di produzione tiene traccia anche dei tempi di attesa delle parti e delle macchine. Quando c'è un collo di bottiglia, la macchina immediatamente successiva lungo la linea ha tempi di attesa elevati, perché il collo di bottiglia sta trattenendo la produzione e la macchina che elabora l'output non riceve abbastanza materiale per lavorare continuamente. Quando si trova una macchina con lunghi tempi di attesa, la stazione che la precede è un collo di bottiglia. [16]

I principali metodi per ridurre l'utilizzo di una macchina e di limitarne quindi l'attesa sono:

- Ridurre la variabilità dei tempi di arrivo delle parti.
- Aggiungere una macchina in parallelo nella stazione.
- Migliorare le performance della stazione riducendone il tempo di processo.

Nonostante ciò, ridurre la variabilità degli arrivi risulta essere difficile e aggiungere una macchina in parallelo può risultare spesso costoso. La soluzione più diffusa è quella di applicare migliorie tecnologiche alla stazione di lavoro per diminuirne il tempo di processo, dato che una sua piccola riduzione potrebbe comportare grandi riduzioni sui tempi di attesa.

Alla luce di questi fatti è possibile dedurre che i sistemi a code richiedono un "trade-off" tra i costi del servizio e i costi di attesa, per questa ragione è necessario tenere conto con vari modi di misurazione delle prestazioni. Queste prestazioni vengono definite attraverso:

- WIP, numero medio delle parti nel sistema.
- WIP in coda, numero medio delle parti nella coda.
- Lead Time, tempo medio di attesa, tempo medio di permanenza nel sistema, tempo tra due punti del processo.
- Value Added Time, tempo medio necessario per completare le operazioni sul pezzo.

L'equilibrio tra Lead Time e Value Added Time è fortemente dipendente dalle caratteristiche del sistema e dalle scelte fatte in relazione ai costi associati dei tempi di attesa in questione.

Nella figura 4 sono illustrate le interazioni tra l'attesa delle parti e l'attesa del processore: la parte A deve aspettare per poter effettuare il processo 1 e il processo 3 dato che le stazioni 1 e 3 sono impegnate nella lavorazione di un'altra parte. Il processore 2, invece, risulta scarico per un certo periodo di tempo mentre aspetta che arrivino parti da processare.

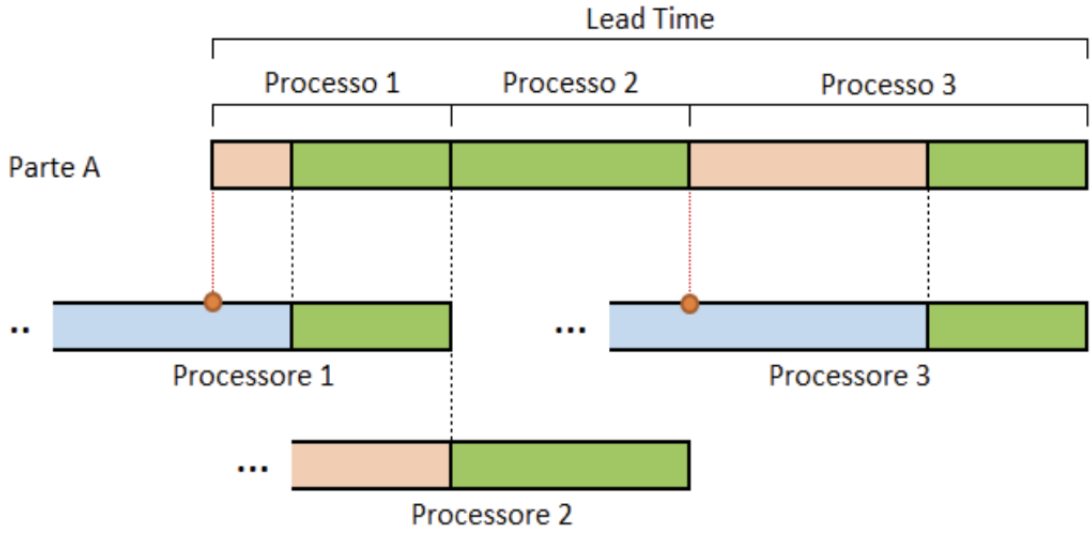


Figura 4: Interazione tra i tempi di attesa delle parti e il tempo di processo

Metodi per lo studio delle code

La prima distinzione da fare per impostare lo studio delle code è quella tra un modello reale ed uno simulato basato sul sistema reale.

Un sistema è un insieme composto da componenti o entità che interagiscono tra di loro, ognuno con un determinato comportamento, tali per cui da raggiungere uno specifico obiettivo. Generalmente il sistema interagisce con il mondo reale, ma tuttavia non ne fa parte. Il sistema può essere descritto quindi come separato dal resto dell'ambiente che lo circonda.

Un modello è l'astrazione di un sistema reale. Esso è meno complesso di quest'ultimo ma, nonostante ciò, si dimostra essere l'equivalente della realtà in tutti gli aspetti rilevanti.

Nella maggior parte dei casi, lo studio di un sistema reale risulta essere molto dispendioso a livello di costi, tempistiche e fattibilità. Per questa ragione vengono studiate le code attraverso dei modelli di simulazione che rappresentano astrazioni della realtà. Il modello dovrà essere sufficientemente complesso da corrispondere ad una rappresentazione del sistema reale rimanendo, però, il più semplice possibile e includendo solamente le componenti del sistema reale considerati importanti per la sua realizzazione.

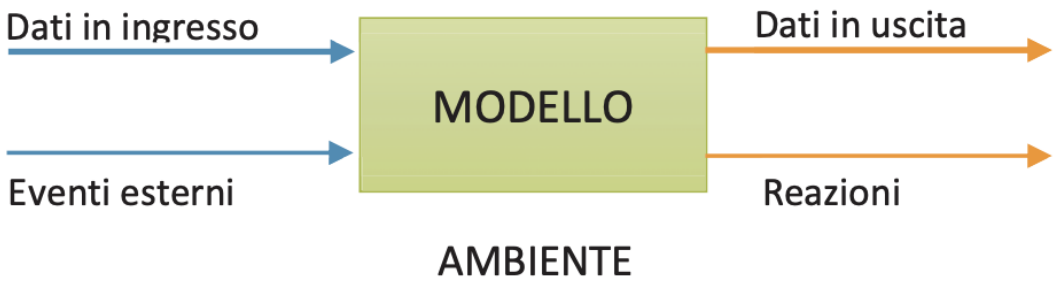


Figura 5:Diagramma generale del modello di un sistema

Per analizzare correttamente un sistema e di conseguenza avere un giusto processo di decision-making bisogna tenere in considerazione le diverse caratteristiche appartenenti ad esso:

- i componenti nel sistema possono essere soggetti a eventi casuali;
- gli eventi casuali che accadono nell'ambiente influenzano il sistema;
- il comportamento del sistema dipende dal tempo;
- i componenti del sistema sono soggetti a complesse interazioni.

A causa di queste variabili, come la variazione della programmazione della produzione o eventi casuali come i guasti, anche i sistemi più semplici e snelli possono risultare complessi.

In questo elaborato verrà approfondito lo studio delle code attraverso dei modelli di simulazione. I modelli di simulazione a loro volta possono essere di due tipi, matematici o fisici. Tuttavia, poiché la maggior parte dei miglioramenti applicati a un sistema riguardano le operazioni, i modelli maggiormente usati sono di tipo matematico.

I modelli matematici, a loro volta, possono fornire soluzioni analitiche o coinvolgere la simulazione. Nei sistemi più semplici si può utilizzare il metodo analitico, ma nel momento in cui questi diventano complessi e presentano più code relative ad operazioni distinte (spesso svolte da diversi processori), allora sarà necessario l'utilizzo della simulazione per l'analisi del sistema.

SIMULAZIONE

Con il termine simulazione si indica la replicazione dell'andamento di un sistema. La simulazione utilizza astrazioni costruite per "imitare" il comportamento del sistema stesso. Essa risulta essere molto importante nella sezione di progettazione di un sistema stocastico e nel definire le sue procedure operative. Infatti, il funzionamento di un sistema è simulato utilizzando distribuzioni di probabilità per generare casualmente eventi del sistema da cui si ottengono osservazioni statistiche sulle prestazioni dello stesso. Ovviamente, affinché questo possa essere realizzato è necessario comporre un modello di simulazione che dia la possibilità di definire le operazioni di un sistema e le relative simulazioni. La possibilità di rappresentazione di sistemi reali complessi, includendo anche la loro relativa variabilità la simulazione, ha portato la simulazione ad avere grande successo e applicazione. Inoltre, essa permette di rappresentare anche sistemi che non sarebbero sperimentabili realmente.

Elementi in un modello di simulazione

Variabili di stato
Un sistema è descritto in ogni istante di tempo da un insieme di variabili definite variabili di stato.
I sistemi possono essere divisi in due grandi categorie: sistemi discreti in cui le variabili cambiano istantaneamente in corrispondenza di precisi istanti di tempo finiti e sistemi continui in cui le variabili variano con continuità rispetto al tempo. Si osservi fin d'ora che la scelta di un modello continuo o discreto da utilizzare non è necessariamente obbligata dalla tipologia del sistema; si può infatti decidere, ad esempio, di costruire un modello discreto per un sistema continuo, a seconda dello studio che si vuole effettuare.

Eventi
Si definisce evento un qualsiasi avvenimento istantaneo il quale porta ad una variazione di valore di almeno una delle variabili di stato. Ci sono due tipologie di eventi: eventi esterni al sistema (eventi esogeni) ed eventi interni (eventi endogeni). Ad esempio, l'inizio della lavorazione di una parte che è in coda in un sistema a coda è un evento endogeno, perché interno al sistema; l'arrivo di una parte ad un sistema a coda è, invece, un evento esogeno.

Entità
Le entità sono i singoli elementi che compongono il sistema i quali necessitano di essere definiti. Le entità più comuni sono gli utenti e i processori. Nel primo caso l'entità percorre il sistema dall'interno e si parla di entità dinamica, nel secondo caso si parla di entità statica. Le entità possono essere caratterizzate da attributi i quali forniscono un valore assegnato all'entità stessa.

Risorse
Le risorse sono elementi del sistema che forniscono un servizio alle entità. Un'entità può richiedere una o più unità di risorsa e se questa non è disponibile l'entità dovrà mettersi, in una coda in attesa che si renda disponibile, oppure intraprendere un'altra azione. Se invece la risorsa è disponibile, essa viene "acquisita" dall'entità, "trattenuta" per il tempo necessario e poi "rilasciata". Un esempio di risorsa potrebbe essere dato da un operaio che sovrintende il funzionamento di una macchina che non può funzionare senza l'operaio stesso: quando è

richiesto l'utilizzo di questa macchina, se la risorsa "operaio" è disponibile allora l'esecuzione del lavoro è effettuata altrimenti si attende che ci sia una risorsa (operaio) disponibile. L'operaio verrà "trattenuto" per la durata dell'esecuzione del lavoro e poi "rilasciato".

Attività e ritardi
Un'attività è un'operazione la cui durata è nota a priori all'inizio dell'esecuzione dell'attività stessa.
Tale durata può essere una costante, un valore aleatorio generato da una distribuzione di probabilità, oppure data in input o calcolata in base ad altri eventi che accadono nel sistema. Un esempio è dato dal tempo di servizio in un sistema a coda.

Un ritardo è un periodo di tempo di durata indefinita che è determinata dalle condizioni stesse del sistema. Il tempo che un'entità trascorre presso una coda prima che si liberi una risorsa della quale necessita è un ritardo.

Classificazione dei modelli di simulazione

I modelli di simulazione possono essere divisi in tre classificazioni, la prima:

- Modelli continui in cui le variabili variano con continuità;
- Modelli discreti in cui il valore delle variabili cambia in ben definiti istanti di tempo.

La seconda:

- Modelli statici che rappresentano un sistema in un particolare istante di tempo;
- Modelli dinamici che rappresentano un sistema in evoluzione nel tempo.

Infine, si possono ancora distinguere:

- Modelli deterministici, non contengono componenti probabilistici;
- Modelli stocastici, presentano elementi soggetti ad aleatorietà.

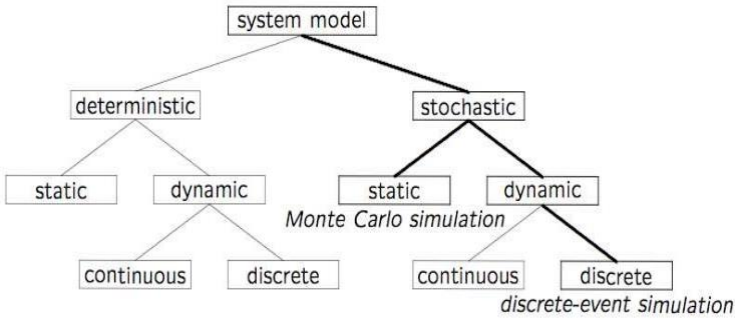


Figura 6: Classificazione dei modelli di simulazione

In questa tesi verranno considerati i modelli di simulazione ad eventi discreti, ovvero i modelli discreti, dinamici, stocastici. I modelli di questo genere sono in grado di rappresentare molto bene la realtà e, inoltre, approssimando variazioni continue con variazioni discrete è possibile simulare il comportamento anche dei sistemi continui rendendoli meno complessi per l'analisi.

Simulazione ad eventi discreti

Parlando di simulazione di eventi discreti (DES), quindi, si concepisce un sistema simulativo volto ad analizzare, tramite tecniche di calcolo matematiche, ed a modellare un sistema che rappresenti il sistema di partenza reale utilizzando variabili discrete.
La simulazione ad eventi discreti è stata introdotta a livello industriale e a livello accademico ed è stata utilizzata per risolvere problematiche legate all'industria. Il suo consolidamento è passato attraverso la fine degli anni '90 quando sono sorte nuove sfide per il settore industriale portati da cambiamenti radicali globali. A causa di questi cambiamenti sono stati introdotti nuovi eventi discreti i quali sono stati rappresentati nei modelli di simulazione.

In questo modo il mondo reale con i suoi eventi, con la sua variabilità e incertezza può essere rappresentato attraverso delle simulazioni ad eventi discreti. Infatti, quest'ultime sono in grado di generare rapporti dettagliati sulle prestazioni degli eventi e riescono ad integrare anche la variabilità esterna.
La simulazione discreta di eventi rappresenta quantitativamente il mondo reale, ne simula le dinamiche in base agli eventi e genera un rapporto dettagliato sulle prestazioni.

Cenni storici

Il primo sviluppo dei software per le simulazioni di eventi discreti ha avuto luogo intorno agli anni '70. Nella storia si sono formate quattro diverse generazioni di software simulativi:

- Nella prima generazione la programmazione era in linguaggi informatici di alto livello, per esempio FORTAN, infatti l'utilizzatore doveva programmare la logica il modello e i codici degli eventi e delle operazioni svolte nel modello.
- Nella seconda generazione vengono introdotti dei comandi per controllare gli eventi, inserendo anche distribuzioni statiche e reporting. Questo ha ridotto il tempo di sviluppo del modello, ma ha comunque richiesto al modellatore di padroneggiare tutti gli aspetti del meccanismo di simulazione. Esempi sono SIMAN (Systems Modeling), EXPRESS (AT&T).
- La terza generazione creò un gran punto di svolta, con l'introduzione di pacchetti di simulazione interattiva, permettendo la modifica del modello istantanea e migliorando le analisi What-if. in questa generazione i modelli di simulazioni possono essere creati da manager industriali o ingegneri e non solo più da informatici. Esempi di software sono WITNESS (AT&T), ARENA (Systems Modeling), Flexsim.

Negli anni '90 è stato effettuato un notevole lavoro per la realizzazione di un ambiente di simulazione integrato nel quale fosse possibile progettare e simulare senza dover utilizzare più pacchetti di simulazione.[11]

Caratteristiche della simulazione ad eventi discreti
Nella simulazione ad eventi discreti il sistema è rappresentato, nella sua evoluzione nel tempo, con variabili che cambiano istantaneamente il loro valore in determinati istanti temporali i quali appartengono ad un insieme numerabile. È possibile quindi individuare tre caratteristiche fondamentali per un qualsiasi sistema operativo: interazioni, variabilità e tempo.

Le interazioni sono fenomeni che si verificano tra i componenti e attraverso le quali il sistema viene definito. Si possono semplificare come relazioni tra le risorse tra cui persone, attrezzature, materiali o informazioni.

La variabilità è definita come qualsiasi avvenimento o cambiamento che può far discostare il modello dal comportamento previsto. Infatti, la variabilità viene spesso definita come l'incertezza del sistema. Vi sono due tipi di variabilità in un sistema: le variabilità pianificate e non pianificate. Le prime includono variazioni sistematiche e programmate (si pensi ai setup, manutenzioni preventive, pause operatore), mentre le seconde invece sono dovute a eventi che possono avvenire in qualsiasi istante e imprevedibili (si pensi ad un fermo macchina per guasto, infortunio operatore).

La caratteristica temporale, invece, tiene conto della dinamicità del sistema e che quindi tutti i sistemi hanno un'evoluzione nel tempo.

La complessità di analisi dei sistemi operativi è data dalla combinazione della variabilità e delle interazioni nel tempo. A causa di questo risulta quindi difficile analizzare un sistema.

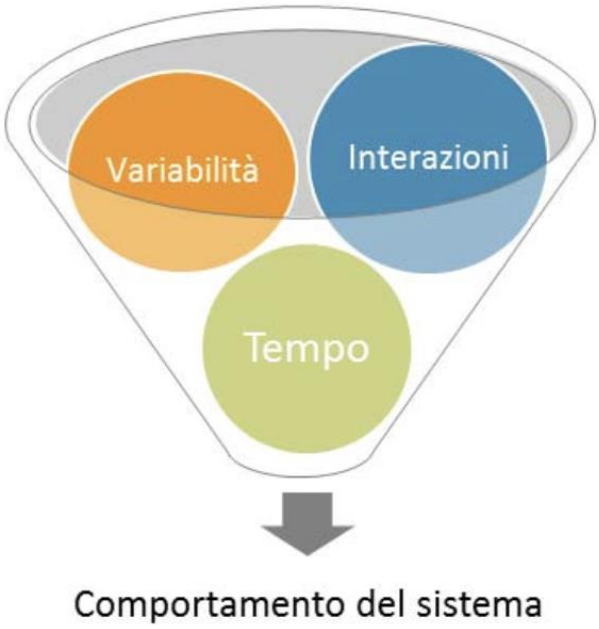


Figura 7: Caratteristiche principali che determinano il comportamento di un sistema

Studio di un problema tramite la simulazione

Per analizzare un sistema è necessario preparare uno studio del problema attraverso la simulazione. Questo processo può essere considerato come un progetto e perciò è definito da un ciclo composto da varie fasi chiamato Simulation modeling and analysis (SMA).

Figura 8: Ciclo di vita del processo di analisi e modellazione della simulazione (SMA)

Come è possibile notare dalla figura 8 un progetto di simulazione prevede la determinazione degli obiettivi, lo sviluppo del modello, l'esecuzione delle analisi, l'implementazione dei cambiamenti, la valutazione delle prestazioni e l'analisi dei risultati. Risulta essere fondamentale pensare e concentrarsi fin dal principio sui risultati che si vogliono ottenere attraverso questa analisi, in modo tale da improntare il progetto sin dai primi step sulla via corretta.

La modellazione del sistema ha inizio attraverso la formulazione di un modello concettuale, ovvero attraverso la creazione di un diagramma generale il quale definisce gli elementi chiave e le relazioni che intercorrono tra di loro. Il focus di questo è quello di mostrare come dovrebbe lavorare il sistema e di fornire informazioni relative al livello di precisione che dovrà fornire il modello. Questo è necessario per riuscire a soddisfare gli obiettivi e per identificare i dati necessari per l'analisi.

Il modello concettuale ha uno scopo molto importante, ovvero quello di validare o meno la logica che si è scelta da applicare al modello di simulazione.

Il modello di simulazione viene utilizzato per l'analisi ed è una traduzione del modello concettuale nel linguaggio informatico.

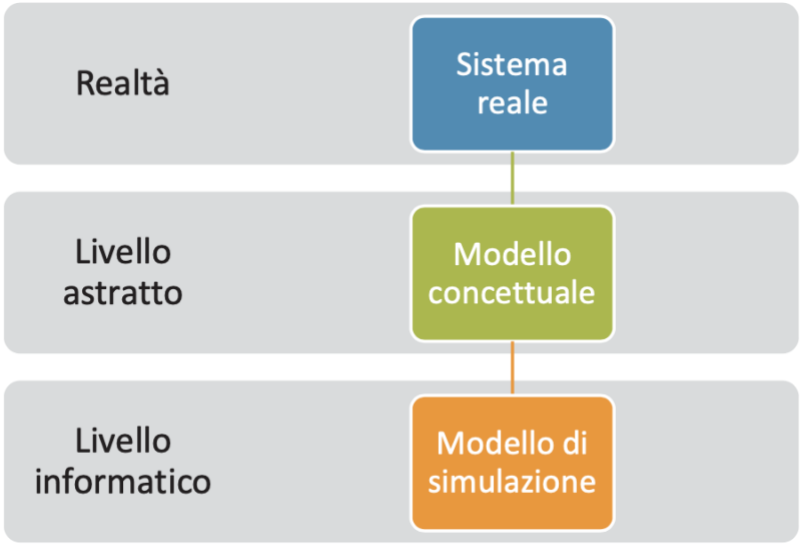


Figura 9: Fasi della definizione di un modello

La conoscenza delle fasi che concorrono alla definizione di un progetto di simulazione è molto importante per assicurare che il modello e i risultati siano validi.
Nella Figura 10 sono illustrate le fasi da seguire.

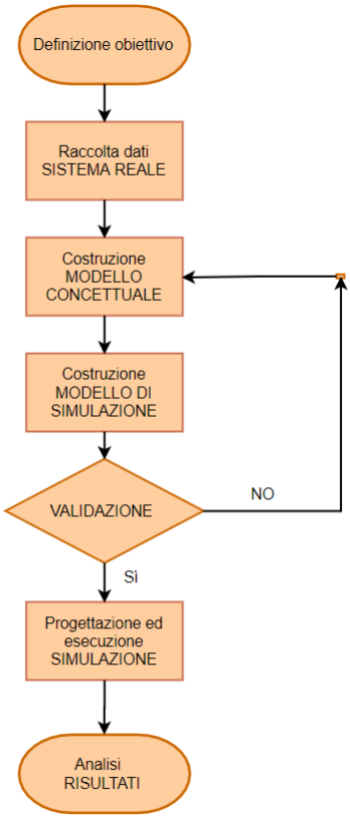


Figura 10: Fasi per la definizione di un progetto di modellazione e simulazione

Identificare l'obiettivo dello studio
Questo risulta essere il primo passo per affrontare l'idea di un modello di simulazione.
In questa fase si comincia a concepire un modello di simulazione attraverso la comprensione del problema identificando gli scopi dello studio, le componenti essenziali e le misure delle performance. Naturalmente, se una versione del sistema è già operativa, si deve osservare tale sistema per dedurne le caratteristiche fondamentali.

Raccolta dei dati
Il secondo step si concentra sulla raccolta dati, data gathering.
Questa fase è fondamentale, infatti la coerenza e l'attendibilità dei dati influenzerà l'attendibilità stessa del sistema. In questo modo vengono identificati e definiti i parametri e gli input del modello e attraverso questi si possono effettuare assunzioni e ipotesi sulle parti del modello scarne di dati.
Le metodologie per la raccolta dati sono diverse, le principali sono:

- Dati storici.
- Interviste membri del personale.
- Raccolta dati sul campo.

Definizione del modello concettuale
Attraverso questa fase si comprende ciò che si vuole ottenere dalla simulazione.
Esso, infatti, è la definizione dell'obiettivo del modello simulative e include, come citato in precedenza le parti fondamentali che compongono il sistema e le loro interazioni.

Formulazione del modello di simulazione
Attraverso questo step si concepisce a livello tecnico il modello di simulazione.
Poiché stiamo trattando sistemi stocastici, per formulare un modello di simulazione è necessario conoscere le distribuzioni di probabilità delle quantità di interesse. Infatti, per generare vari scenari rappresentativi di come un sistema funzioni, è essenziale che una simulazione generi osservazioni casuali da queste distribuzioni. Ad esempio, nei sistemi a coda è necessaria la distribuzione dei tempi di inter arrivo e i tempi di servizio; nella gestione delle scorte è necessaria la distribuzione della richiesta dei prodotti e la distribuzione del tempo tra un ordine e il ricevimento della merce; nella gestione dei sistemi di produzione con macchine che occasionalmente possono guastarsi, sarà necessario conoscere la distribuzione del tempo fino a che una macchina si guasta e la distribuzione dei tempi di riparazione. Generalmente è possibile solo stimare queste distribuzioni derivandole, ad esempio, dall'osservazione di sistemi simili già esistenti. Se dall'analisi dei dati si vede che la forma di questa distribuzione approssima una distribuzione tipo standard, si può utilizzare la distribuzione teorica standard effettuando un test statistico per verificare se i dati possono essere rappresentati bene mediante quella distribuzione di probabilità. Se non esistono sistemi simili dai quali ottenere dati osservabili si deve far ricorso ad altre fonti di informazioni, quali ad esempio specifiche delle macchine, manuali di istruzioni delle stesse, studi sperimentali, ecc.

Implementazione del modello di simulazione
Dopo aver costruito il modello è necessario passare attraverso uno strumento per implementare la simulazione, tra cui:

- Linguaggi general purpose: C++, FORTRAN, ecc. Inizialmente erano utilizzati, attualmente sono molto complessi e richiedono tempi di programmazione alti e perciò si preferiscono i simulatori.
- Simulatori: sono software per la simulazione incentrati già sull'applicazione pratica. Sono stati creati numerosi software interattivi di simulazione come ARENA, WITNESS, EXTEND, MICRO SAINT, FLEXSIM. Questi simulatori permettono di creare un programma di simulazione utilizzando dei menù grafico incluse di entità con codice già definito senza quindi la necessità di programmare. Sono di semplice utilizzo rispetto ai linguaggi general purpose, ma alle volte riscontrano dei limiti che si possono superare con l'integrazione di un linguaggio general purpose per elementi non standard.
- Fogli elettronici: questi vengono utilizzati quando i problemi da affrontare non sono di grandi dimensioni. Un esempio di questi fogli elettronici è Excel.

Verifica del modello di simulazione
Questa fase consiste nel verificare se il modello lavora come ci si aspetta.
Di solito ciò viene fatto attraverso un'analisi concettuale del modello che può essere effettuata insieme agli esperti del settore applicativo in modo da evidenziare eventuali errori e/o omissioni.

Validazione del modello di simulazione
Qua si verifica se il modello realizzato fornisce dei risultati validi per il sistema in esame.
Più in particolare si deve verificare se le misure di prestazione del sistema reale siano bene approssimate dalle misure generate dal modello di simulazione. Ciò è molto difficile da effettuare, specialmente in fase di progettazione quando il sistema reale non esiste.

Progettazione della simulazione
Antecedentemente all'esecuzione della simulazione è indispensabile determinare come condurla.
Spesso una simulazione è un processo che muta nel mentre della sua realizzazione.
Inoltre, sono presenti problematiche di tipo statistico:

- La determinazione della lunghezza temporale del transitorio del sistema prima di raggiungere condizioni di stazionarietà (ovvero l'istante da cui cominciare a raccogliere dati sulle prestazioni a regime del sistema).
- La determinazione della lunghezza temporale della simulazione dopo raggiungimento della condizione di equilibrio: è necessario tenere sempre in considerazione il fatto che la simulazione non fornisce valori esatti e precisi nelle misure di performance, questo perché ogni simulazione è un esperimento statistico a sé stante. Questi output della simulazione vengono poi impiegate per generare stime delle misure di prestazione. Prolungando la durata della simulazione è possibile che la precisione di queste stime aumenti.
- La determinazione del numero delle repliche di una simulazione, infatti, sarà necessario realizzare un determinato numero di esecuzioni autonome per far raggiungere l'esattezza desiderata nella stima delle misure di interesse.

Esecuzione della simulazione e analisi dei risultati
L'output della simulazione fornisce stime statistiche delle misure di prestazione di un sistema. Risulta essere fondamentale che ogni misurazione sia accompagnata dal relativo intervallo di confidenza (all'interno del quale può variare). Questi risultati potrebbero evidenziare subito una configurazione del sistema migliore delle altre, ma maggiore sarà il numero di misurazioni e maggiore sarà il numero di candidate per essere la configurazione migliore. In queste situazioni potrebbe essere necessario effettuare ulteriori studi per confrontare le configurazioni e sceglierne la migliore.

Applicazioni della simulazione di eventi discreti nel settore manifatturiero

La simulazione ha avuto un rapido successo e perciò una rapida espansione nei paesi industrializzati fin dai tempi della rivoluzione industriale e con le prime linee di montaggio, infatti sono nati subito vari strumenti come: CAD (Computer-aided Design), CAM (Computer-aided Manufacture), AGV (Automatic Guided Vehicle), Robotica, FMS (Flexible Manufacturing System) e CIM (computer integrated manufacturing). La simulazione permette alle aziende di essere molto versatili e flessibili, presa visione di questa possibilità le aziende hanno investito molto nelle tecnologie di simulazione ad eventi discreti. Infatti, i manager avevano preso come modello il software di simulazione per prendere le decisioni migliori e cercare di aumentare la propria produttività.

Le principali aree di utilizzo dei software per la simulazione ad eventi discreti sono:

- Valutazione di nuovi impianti produttivi con annessa progettazione.
- Implementazione e miglioramenti di prestazioni di linee produttive.
- Processi decisionali in ambito di gestioni operative ottimali.
- Strumento di supporto per decision-making per pianificazione e programmazione produttiva.

Applicazioni della simulazione ad eventi discreti nel settore dei servizi

Negli ultimi anni un altro settore in rapida espansione è quello dei servizi. Quest'ultimo sta aumentando la scala delle operazioni maniera considerevole, aumentandone anche la difficoltà. La sfida è sempre stata quella di offrire un servizio eccellente al cliente bilanciandone i costi grazie all'efficienza operativa, ma via a via che le operazioni crescono e che la loro difficoltà aumenta di conseguenza si sta arrivando alla conclusione che i sistemi di modellazione possono essere un supporto fondamentale per i manager nel prendere le decisioni chiave. Anche in questo caso l'analisi posta è di tipo "What-if" per modellare e valutare il comportamento aziendale in diverse condizioni. Alcuni esempi di questo genere di applicazione sono:

- I servizi bancari: simulando e modellando call center, filiali bancarie, trasporto contante (tramite veicoli), gestione contante presso gli ATM e budget ottimale.
- Sanità e ospedali: simulazione e modellazione di liste d'attesa, pianificazioni posti letto, costruzioni nuove strutture/cambiamento strutture esistenti, programmazione sale operatorie, turni dei medici e collaboratori sanitari.
- Logistica e trasporti: simulazione e modellazione di strategia di spedizione, progettazione centri smistamento, movimentazione dei materiali, pianificazione personale.
- Settore pubblico: modellazione e simulazione della risposta alle emergenze, ottimizzazione spiegamento servizio armato.

Tutte queste categorie sopra citate han uno sviluppo simulativo simile utilizzando tre risorse:

1) Flusso del processo, a differenza dei flussi di produzione, nel settore dei servizi non è sempre semplice individuare il flusso di valore poiché esso è legato a informazioni o richieste scritte o orali. In questo caso la soluzione è quella di mappare lo strumento di business e poi convertire il modello di processo in un modello di simulazione ad eventi discreti.

2) Dati relativi al processo come il tempo di elaborazione: dato che le aziende di servizi solitamente non hanno a disposizione ingegneri industriali i dati dei tempi di processo non sono sempre disponibili nell'immediato e vanno ricercati. Alcune aziende di servizi stanno iniziando ad assumere ingegneri o a preparare il personale aziendale per sopperire a questa mancanza.

3) Operatori della conoscenza: molte società di servizi hanno a disposizione del personale che lavora utilizzando la sua conoscenza pregressa. Queste persone sono fondamentali per lo sviluppo di un modello di simulazione e vanno interpellate per creare una simulazione che rispecchi a pieno il processo di servizi aziendale.

Nuove opportunità per simulazione ad eventi discreti

Negli ultimi anni parecchie aziende hanno esportato le loro produzioni a terzi oppure hanno esportato direttamente il sistema produttivo in paesi con un minore costo di manodopera. Durante queste fasi di cambiamento la simulazione può avere un forte impatto sulle strategie aziendali diventando supporto a sfide aziendali come: la società virtuale e i sistemi di produzione ibridi.

- Con il termine società virtuale si va ad intendere un'azienda con produzione in varie parti del mondo e che quindi comporta una catena di fornitura con più locazioni nel mondo. Questo genere di struttura implica anche che le relazioni tra le varie parti sono più complicate a causa della distanza e per questo vengono definite società virtuali. Per poter applicare i principi della Lean production come magazzino 0 e produzione Just in Time è necessario che ogni singola parte usufruisca del servizio di simulazione ad eventi discreti per poter progettare i propri impianti anche sulla base degli altri stabilimenti della propria azienda e delle relative catene di fornitura. Ogni singola parte, perciò, deve implementare un modello di simulazione condividerlo con le altre parti.
- Con il termine sistemi di produzione ibridi si intende un meccanismo aziendale di uno stabilimento trasferito in un paese in cui la manodopera è a costo ridotto. Molto spesso in questi paesi lo sviluppo tecnologico non è avanzato e la forza lavoro non è specializzata in questo settore. Per far fronte a queste problematiche è necessario utilizzare le macchine a disposizione per operazioni che richiedono maggiore precisione e qualità mentre tutti i processi non produttivi vengono attribuiti alla forza lavoro degli operai. Per ottimizzare il sistema produttivo, perciò, è necessario creare un modello di simulazione per non incorrere in costi elevati di prove produttive e per scegliere la migliore soluzione in termini di produttività ed efficacia. Pertanto, è fondamentale per modellare le prestazioni umane con diversi livelli di competenze e in varie condizioni di lavoro anche se i software di simulazione risultano avere ancora dei limiti nella modellazione della forza lavoro umana.[11]

FLEXSIM

In questo capitolo verrà descritto il funzionamento del software Flexsim, il quale può essere utilizzato per modellare le caratteristiche di un sistema necessarie per la creazione di un modello ad eventi discreti. FlexSim è un software di simulazione a eventi discreti sviluppato da FlexSim Software Product Inc. Questo strumento è un software in grado di permettere una modellazione 3D di facile utilizzo ed efficace grazie alle animazioni grafiche realistiche. I report basati sulle prestazioni della simulazione che fornisce Flexsim sono di facile utilizzo e permettono di visualizzare le problematiche e di poterne trovare e validare soluzioni in un tempo limitato.

Il software si presenta con due differenti interfacce per la costruzione di un modello, il modello 3D e il Process Flow. Nel primo caso è possibile di creare e visualizzare un sistema di simulazione grazie ad una grafica tridimensionale, il secondo segue la costruzione di un flusso logico che può essere utilizzato anche per controllare il modello 3D.

Modellazione 3D

L'interfaccia una volta entrati nella sezione 3D si divide in: il menu, la barra degli strumenti, il pannello di controllo della simulazione, la libreria e la vista 3D del modello. Il modello 3D è collocato nella zona centrale nella quale è possibile creare il formato tridimensionale della simulazione. Vi è la possibilità dell'utilizzo della libreria trascinando gli oggetti da essa, dopo aver fatto ciò è possibile cliccare il tasto "run" situato in alto per far partire la simulazione. In questo modo è possibile vedere la realizzazione del modello con i movimenti e interazioni tra gli oggetti del sistema.

Gli oggetti sono le componenti principali di un modello e rappresentano la specifica parte che svolge una specifica attività nel sistema reale.

Questo approfondimento su Flexsim prenderà in considerazione solo gli oggetti discreti presenti dato che l'argomento in discussione tratta di specifici modelli a simulazione discreta. I modelli ad eventi discreti sono composti da oggetti dinamici chiamati flowitem, i quali percorrono il modello e interagiscono con altri oggetti le quali svolgono un'operazione (entità).

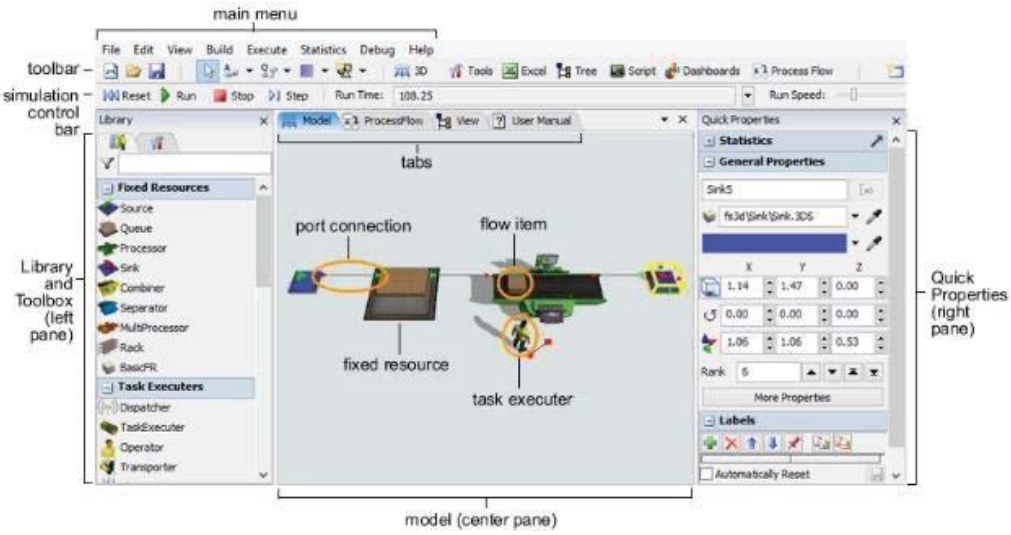


Figura 11: Ambiente di modellazione 3D in FlexSim

Le entità possono andare in contatto con due categorie di oggetti, le fixed resources e i task executers.

Ogni oggetto è collegato con altri in modo tale da poter comunicare tra loro e definendo in questo modo il flusso del modello. Questi oggetti sono connessi tra di loro mediante le porte di cui sono dotati. Le porte presenti in ogni oggetto sono quella di input, output e centrale. Ogni oggetto avrà un ruolo specifico nel modello e questo ruolo viene definito dall'utente mediante l'impostazione di parametri e delle proprietà.

Flowitem

I flowitem sono gli oggetti i quali percorrono il modello di simulazione passando da una stazione a quella successiva. Essi possono simulare oggetti di tipo reale oppure anche concetti astratti come messaggi, telefonate o informazioni. Questi elementi vengono creati dalla fonte a intervalli di tempo discreti che viene impostata nel sistema. Questi dopo aver percorso tutto il sistema vengono distrutti nel sink. Le diverse classi disponibili sono raccolte nel FlowItem Bin per cui la sorgente crea copie degli item contenute nel FlowItem Bin.

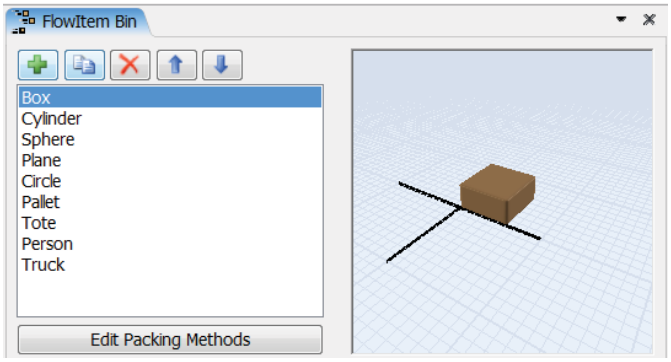


Figura 12: FlowItem Bin

Fixed Resources

Le fixed resources sono componenti che accolgono, inviano e processano determinate attività sui flowitem. Il loro nome deriva dal fatto che essi non sono oggetti mobili, e rimangono statici durante tutta la fase di simulazione.

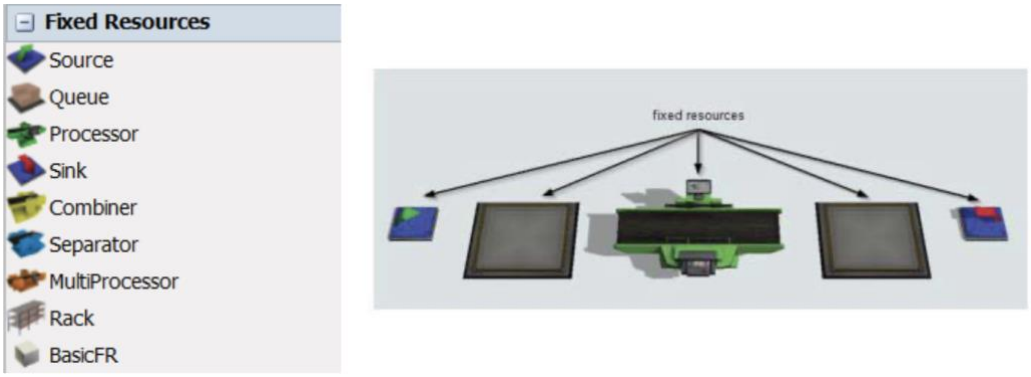


Figura 13: Fixed Resources

Nella figura 14 sono elencate le principali fixed resources e le loro funzioni.

Source	▪ Crea e rilascia *flowitem* secondo specifici tempi di interarrivo
Sink	▪ Riceve e rimuove i *flowitem* dalla simulazione
Queue	▪ Contiene temporaneamente gli *item* se la stazione a valle non può accettarli
Processor	▪ Processa o ritarda uno o più *item* ▪ Può richiamare un operatore per eseguire il setup o l'operazione ▪ Può fermarsi per un evento pianificato o non pianificato

Figura 14: Descrizione delle principali fixed resources

Task Executers

I task executers sono oggetti che si muovono all'interno del modello e interagiscono con i flowitem e le fixed resources. Vengono chiamati in questo modo dato che hanno la possibilità di eseguire attività come caricare e scaricare flowitem ed eseguire setup o operazioni sulle macchine.

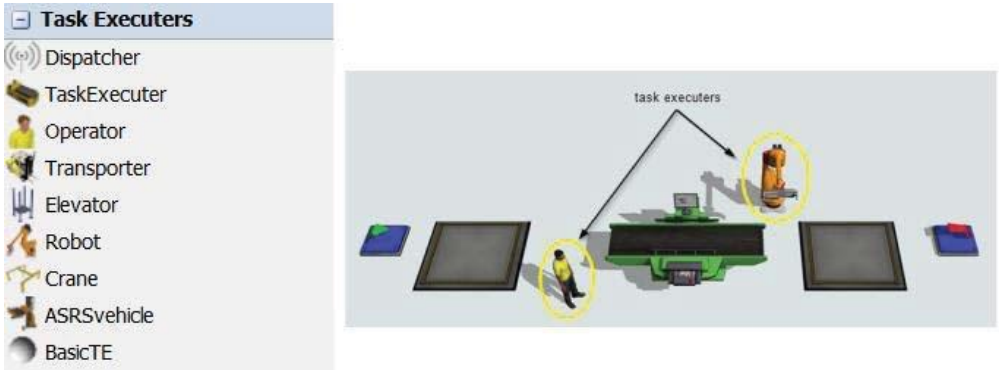


Figura 15: Task Executers

Tutti i task executers hanno la possibilità di eseguire tutte funzionalità di base, l'unico aspetto che li differenzia tra di loro è la possibilità di movimento differente (come un operatore ed un trasportatore).

I task executers devono muoversi lungo percorsi a volte complessi. Per definire percorsi specifici, in FlexSim si possono usare i network nodes.

Un metodo alternativo per controllare il percorso delle risorse mobili è il metodo AStar che usa l'algoritmo A* per trovare il percorso migliore tra due punti evitando gli ostacoli. Di default, l'operatore prenderà il percorso più breve. Gli oggetti collegati al modulo A* presentano un'area blu alla base.

L'uso dell'algoritmo A* richiede un processo maggiore rispetto ai network nodes ma è molto utile in modelli di grandi dimensioni dove diventa complicato costruire la rete dei percorsi.

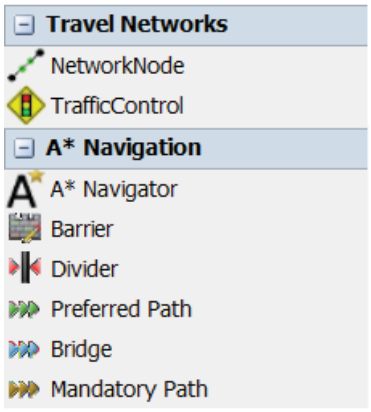


Figura 16: Metodi per la definizione di percorsi specifici

Porte

Le porte, come detto in precedenza possono essere di input, output o centrali. Queste porte sono illimitate all'interno di ogni oggetto e servono a comunicare con altri oggetti del sistema. Le porte di input e di output spostano gli item dalla stazione a precedente a quella successiva, mentre le porte centrali vengono utilizzate come link tra l'oggetto e un task executers al quale si assegna un compito. Queste ultime non sono porte hanno direzione e perciò possono essere collegate in qualunque ordine.

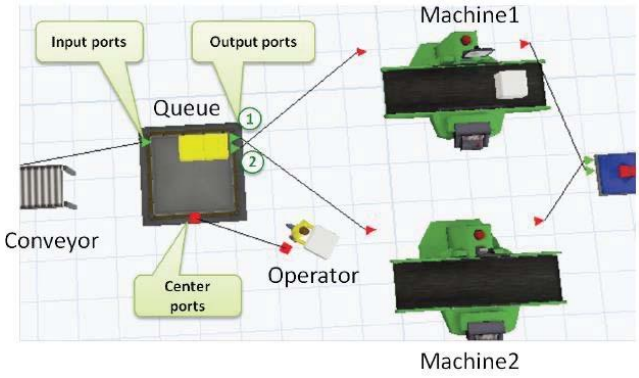


Figura 17: Tipologie di porte per gli oggetti della simulazione

Quando due fixed resources sono collegate, il flowitem passa immediatamente da una stazione all'altra senza considerare la distanza che le separa. Per poter tenere conto della distanza che li separa i task executers possono essere collegati tramite l'utilizzo della porta centrale.

Process flow

Il Process Flow è uno strumento più astratto e teorico rispetto alla modellazione 3D. Questo strumento viene utilizzato quando la logica di un modello di simulazione risulta essere alta e complessa. In questi casi si può incorrere in varie difficoltà nella modellazione tridimensionale e perciò si utilizza il Process Flow. Con il termine logica si intende il comportamento generale del modello e le interazioni tra gli oggetti della simulazione mentre questa scorre, ovvero essa è il filo conduttore che lega e controlla la serie di eventi discreti che compongono il sistema. Flexsim ha introdotto il Process Flow per evitare di dover scrivere codici nella creazione di un modello dato che questo passaggio risulta essere complesso e dispendioso a livello di tempo. Così facendo non è più necessario riscrivere dei codici ad hoc per raggiungere il livello di logica richiesto. Questo metodo di programmazione, infatti, si serve di oggetti logici che è possibile trascinare dalla libreria nel modello come se fossero oggetti 3D.

La figura 18 riporta gli elementi principali del Process Flow.

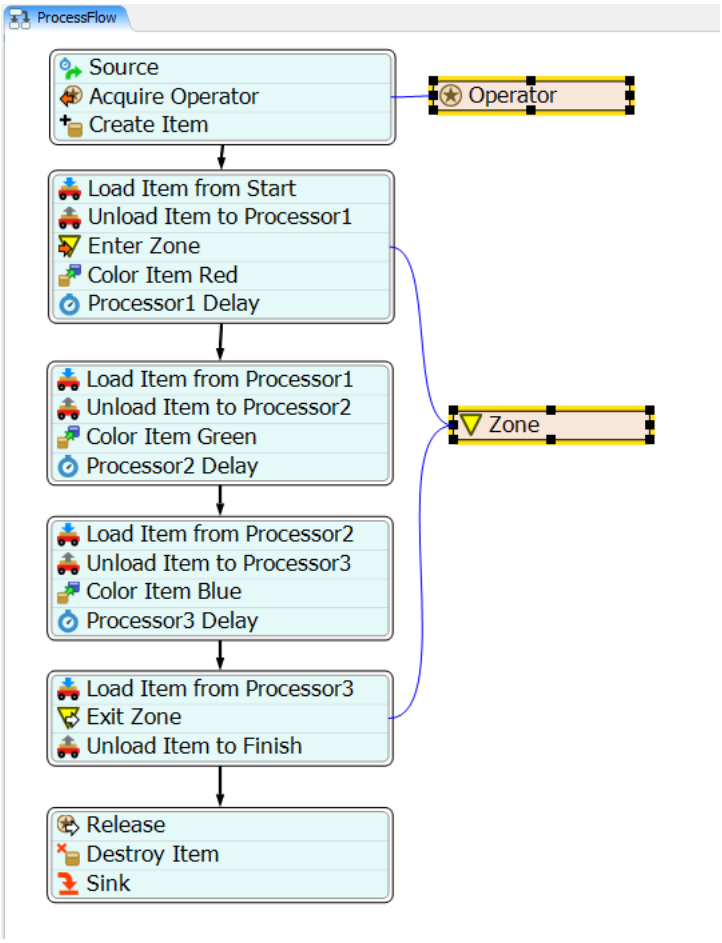


Figura 18:Ambiente per la creazione del Process Flow

Token

Il token è l'elemento di base del process flow. Essi sono oggetti che percorrono le attività durante la simulazione e possono essere paragonati in maniera astratta ai flowitem del modello 3D. Il movimento del token rende possibile visualizzare il percorso dell'esecuzione della logica

del processo. Durante la sua creazione, ad ogni token viene assegnato un numero identificativo ID che viene utilizzato come rifermento. Questo viene utilizzato per creare delle label, in modo da poter dare degli attributi particolari ad ogni token secondo i parametri richiesti.

Un process flow ha inizio alla generazione del primo token quando un token finisce quando il token raggiunge un oggetto di tipo pozzo (sink, come in un modello 3D).

Activity

Una Activity è un'operazione logica o una fase del process flow. Le attività possono essere riportate dalla libreria nel modello e collegate tra loro con dei connettori logici. Una volta entrato in un'attività, il token esegue la logica associata ad essa. Alcune attività vengono eseguite istantaneamente, altre richiedono un determinato tempo e possono trattenere il token fino a che non si verifichi una certa condizione.

La figura 19 rappresenta il primo set di attività presenti nella Libreria, quella di creazione token. L'ultima attività è l'unica che si differenzia dalla creazione di un flowitem del modello 3D, infatti crea token quando si verifica un determinato evento nel modello. Questo evento può essere scelto dall'utente.

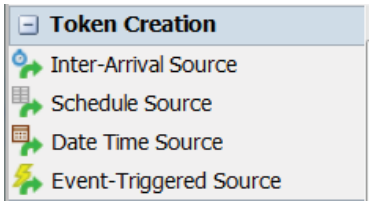


Figura 19: Attività per la creazione dei token in un Process Flow

Il secondo blocco rappresenta le attività di base (figura 20) principalmente usate.

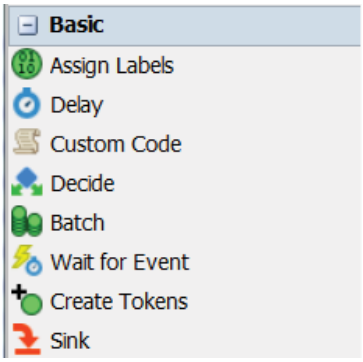


Figura 20: Attività di base del Process Flow

Di seguito una descrizione delle attività principali:

- Assign Labels: può assegnare label a un token o agli oggetti.
- Delay: ritarda e trattiene il token per un certo periodo di tempo.
- Custom Code: permette di creare una logica personalizzata attraverso il codice di programmazione FlexScript.
- Decide: permette di decidere l'attività seguente dove mandare il token a seconda di un certo

criterio.

- Batch: permette di raggruppare i token in lotti secondo determinate regole.
- Wait for event: trattiene il token fino a che non si verifica un certo evento.

Esattamente come nella modellazione tridimensionale, è possibile attribuire parametri diversi per poter scegliere il miglior funzionamento per ogni parte.

I gruppi di attività Visual, Objects e Task sequences agiscono direttamente sul modello 3D dinamicamente (Figura 21):

- Visual: modificano l'aspetto di un oggetto del modello 3D;
- Objects: permettono di creare, spostare o eliminare gli oggetti nel modello 3D;
- Task Sequences: permettono di assegnare compiti all'operatore nel modello 3D.

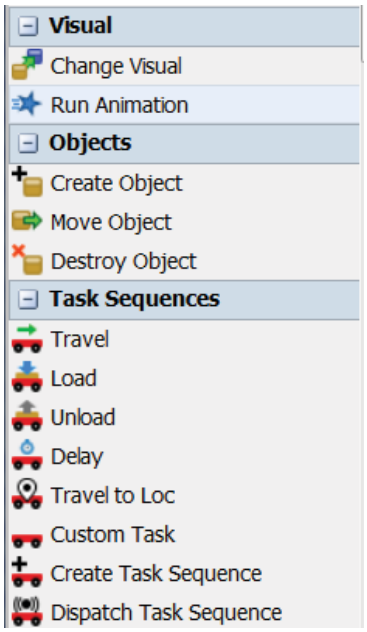


Figura 21: Attività Visual, Objects e Task sequences nel Process Flow

Sub Process Flow

Un Sub process flow è un flusso di attività staccato dal process flow, esso entra in funzione solo ed esclusivamente se viene innescato da un'altra attività o evento del process flow.
In generale, un subflow parte quando un token entra nell'attività Run Subflow che crea uno o più child token e li manda all'attività Start collegata. Il child token è una copia del token originale e ne copierà gli attributi e tutti i dati.

Una volta partito il subflow, il child token attraverserà tutte le attività presenti nella subroutine, mentre il token principale aspetterà nell'attività Run subflow la fine del subflow.
Quando il child token terminerà il suo percorso verrà eliminato e le informazioni appartenenti ad esso vengono copiate nel token originale, il quale continuerà il suo percorso.

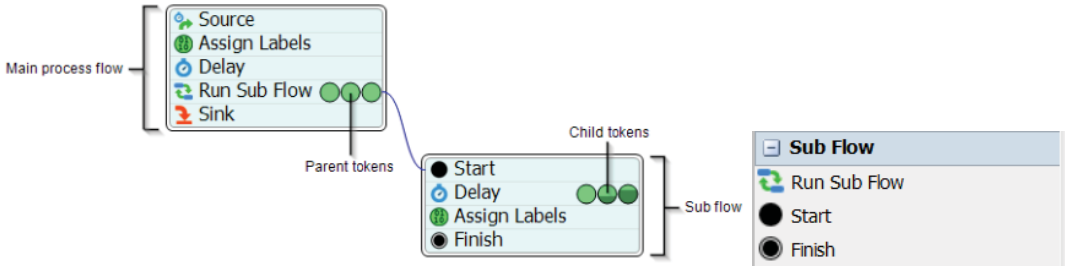


Figura 22: Attività per attivare un Subflow ed esempio di Subflow

Shared Asset
Uno shared asset è una risorsa finita che un token può richiamare o rilasciare in determinati momenti del process flow. Gli shared asset sono degli elementi differenti dalle attività, i quali possono variare il percorso dei token, trattenendoli se una risorsa necessaria non è disponibile.

Esistono tre tipi di shared asset:

- Resource: rappresenta una fornitura limitata di una risorsa che può essere acquisita e rilasciata. Può simulare la fornitura di beni, servizi, materiali, macchine, strumenti, operatori,
- List: rappresenta una lista di token, flowitem, sequenza di attività.
- Zone: permette di raccogliere informazioni statistiche non disponibili per le attività standard. Può anche restringere l'accesso a una sezione del process flow secondo certi criteri.

Figura 23: Shared Assets

Process flow Preemption
Le preemption in un Process Flow sono degli elementi di logica che permettono di interrompere un'attività corrente del token per indirizzarlo verso un'altra attività la quale ha precedenza su di essa. Una volta che il token ha completato le attività prioritarie, può riprendere le attività interrotte. Le preemption hanno diversi scopi:

- Disponibilità delle risorse o Manutenzione preventiva: non tutte le risorse del sistema, macchine o operatori, sono sempre disponibili (esempio guasti macchina, set up, operatori). La logica preemption permette di simulare questi fermi programmati. Una volta che

l'attività deve terminare verrà sospesa e quando potrà ripartire continuerà dallo stesso punto in cui si è bloccata.

- Routine o attività periodiche: è possibile che gli operatori abbiano dei compiti programmati da ripetere regolarmente. La logica preemption può essere usata anche in questo caso per permettere all'operatore di eseguire questi compiti e riprendere l'attività precedente una volta terminate le attività prioritarie (esempio pausa pranzo).
- Situazioni altamente prioritarie: durante la produzione è possibile che si formino dei problemi o delle emergenze le quali hanno bisogno di assistenza immediata. In questi casi la logica preemption può cambiare il percorso delle risorse dando la possibilità di eseguire attività per ristabilire la normale produzione.

La logica preemption è composta da tre azioni principali. Ciascuna corrisponde a un'attività del process flow:

- Save Token Context: prima di interrompere le attività, è necessario salvare la posizione del token ed il suo contenuto, così da poterlo immettere nelle stesse condizioni precedenti al fermo dopo aver risolto i problemi.
- Release Token – questa attività interrompe l'attività corrente del token e lo spedisce su un'altra attività in modo tale da far continuare il flusso di processo senza dover fermare il tutto.
- Restore Token Context: dopo aver completato le azioni prioritarie, il token può essere ripristinato al contesto salvato prima dell'interruzione e tornare a svolgere le normali attività.

Figura 24: Principali attività della logica preemption

Ciascuna di queste attività contiene un riferimento al token dirottato che deve essere uguale per tutte e tre le attività.

Le attività Save Token Context e Restore Token Context usano entrambe una componente del token di riferimento, savePoint: l'attività Save Token Context crea il savePoint sul token dirottato e salva l'attività corrente che questo stava eseguendo prima di essere salvato. Se l'attività interrotta era riferita a un processo o a un timer, verrà salvato anche l'intervallo di permanenza del token in quell'attività.

L'attività Restore Token Context, in seguito, fa riferimento all'attributo savePoint sul token di riferimento e ripristina l'attività che stava eseguendo al momento della creazione dell'attributo.

Un processo di preemption è compost da tre elementi:

- Core System Process Flow: rappresenta il funzionamento del sistema sotto le normali condizioni di lavoro.
- Preempting Event Process Flow: attiva la sequenza delle attività prioritarie. Può essere

attivato casualmente, da un evento particolare durante la simulazione o può attivarsi a intervalli regolari utilizzando una qualsiasi attività che possa creare token.

- Preempted Token Processing: è necessario disporre di almeno un'attività che contenga temporaneamente il token dirottato fino a che non viene ripristinato nel Core System ProcessFlow.
  La figura 25 mostra un esempio di un semplice sistema che segue la logica preemption.

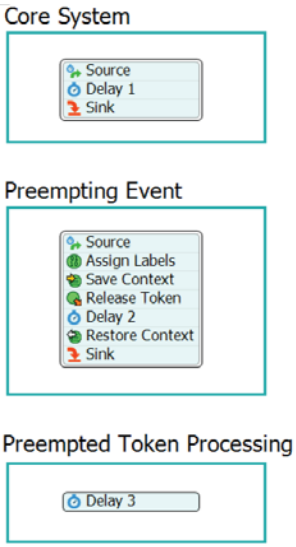


Figura 25: Esempio di un processo di preemption

Flowchart

Durante il processo di definizione del modello è consigliabile iniziare con la costruzione di un diagramma di flusso (flowchart) del sistema che si vuole creare. In Flexsim è possibile creare un diagramma di flusso che può essere via via migliorato per controllare la logica della simulazione. Lo strumento del Process Flow fornisce nella sua libreria gli elementi base per costruire un flowchart. In questo modo è più semplice organizzare e visualizzare le attività che compongono il processo.

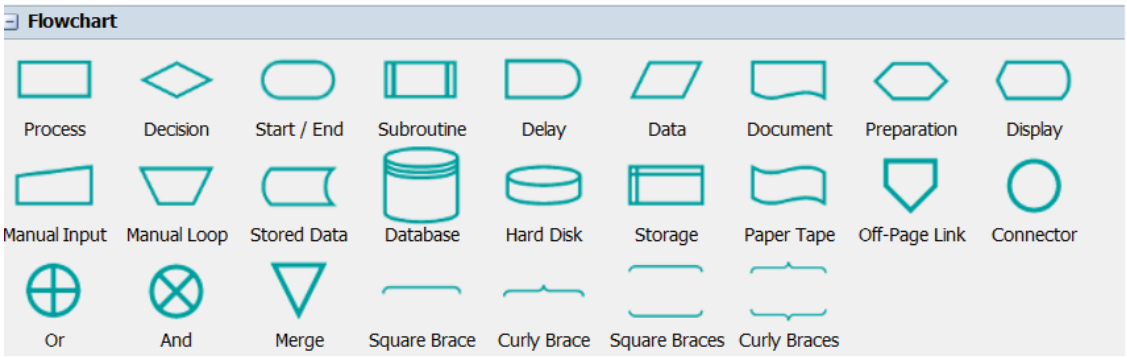


Figura 26: Elementi per la costruzione di un flowchart nel Process Flow

Labels
I labels, o attributi, sono componenti fondamentali per la costruzione di un modello logico. Essi rappresentano la gestione di informazioni di un flowitem o di un token. L'importanza fondamentale degli attributi è quella di rendere possibile il tracciamento di informazioni e di conseguenza di cambiare dinamicamente in corso d'opera il flusso. Ogni label è composto da tre elementi:

- Owner: ogni attributo è intrinseco al proprio flowitem, token o oggetto 3D. Perciò è quindi necessario sapere la provenienza di ogni attributo per poter fare riferimento al giusto token durante la simulazione.
- Nome: ogni attributo ha un nome che indica il genere di informazione che contiene. Il nome viene definito alla generazione dell'attributo e non verrà modificato durante la simulazione.
- Valore: per ogni label è definito un valore o riferimento ad un oggetto. Il valore, a differenza del nome, può variare durante la simulazione.

Nella figura 27 sono riportati alcuni esempi su come riferirsi agli attributi:

```
item.ProductType

item.Destination

token.Weight

token.puller

current.MyOperator
```

Figura 27: Esempi di riferimenti ad attributi

Come si nota dalla figura 27, la prima parte (esempio 1 item.) si riferisce all'owner dell'attributo mentre la seconda è il suo nome (esempio 1 productType).

Gli attributi possono avere diverse funzioni, di seguito sono descritte le più comuni.

Determinare il percorso di un item o di un token
I flowitem che si percorrono in un modello 3D possono essere spediti in diverse stazioni a seconda del valore di un attributo.

Quasi allo stesso modo funzionano i label attribuiti ai token, durante il movimento di un token tra le attività, esso può essere mandato a seconda del suo attributo in un'attività differente oppure possono formarsi lotti di token che vengono raggruppati per attributo.

Tracciare cambiamenti di un oggetto o di un token
Gli attributi possono rappresentare lo status attuale di un oggetto, una proprietà fisica o altre caratteristiche da tracciare durante la simulazione. Infatti, durante la simulazione l'attributo può variare per segnalare cambiamenti eseguiti sul token.

Collegare i token agli oggetti 3D o ad altri token
Legare i token nel processo logico agli oggetti del modello tridimensionale è uno degli obiettivi fondamentali degli attributi. Se viene effettuata questa operazione, il process flow ha la possibilità di controllare la logica del modello 3D usando gli attributi come riferimento. Quando un token si muove nel process flow in simultanea verrà mosso anche il rispettivo flowitem nella simulazione tridimensionale.

Effettuare delle scelte in base a delle condizioni
Gli attributi permettono di studiare come varia il comportamento del sistema quando è sottoposto a condizioni variabili. Per esempio, il tempo di processo di una stazione può variare a seconda del tipo di item da lavorare o dello step di lavorazione.

Raccogliere dati dal modello
Gli attributi permettono di tracciare le statistiche in un modello. Assegnando un determinato label, è possibile tracciare il valore che esso assume durante la simulazione per poter analizzare l'andamento di una determinata caratteristica.

Triggers
Un trigger è un procedimento logico che comporta alla sua attivazione un comportamento specifico del sistema. Quindi, quando un trigger viene avviato, si avvierà una determinata sequenza di comportamenti ed eventi.

I trigger si attivano solo in caso di determinati eventi e in caso di determinate situazioni. Come, per esempio, per eseguire azioni specifiche quando un flowitem entra in un oggetto come cambiare il colore di un oggetto o aggiornare attributo, oppure può essere usato per impostare un tempo di processo quando un item è pronto per la lavorazione.

Tutti gli oggetti hanno dei trigger che dipendono dalla loro funzione.

Disponibilità delle risorse
Quando un modello diventa maggiormente complicato può essere necessaria l'aggiunta di ulteriori funzioni per rappresentare in maniera più dettagliata la realtà. Molto spesso le risorse nella realtà lavorano con dei tempi di fermo, ovvero tempi in cui la macchina non è operativa, perciò è necessario inserire la possibilità di un processo dinamico start and stop.

Alcune di queste interruzioni possono essere pianificate o meno e di questa variabilità di affidabilità delle risorse può avere un grande impatto sulle prestazioni del sistema. In Flexsim ci sono due modalità per introdurre i fermi:

- i fermi pianificati sono tipicamente introdotti con le Time Tables. L'istante iniziale e la durata del guasto sono conosciuti e si basano sul clock time: accadono sempre nello stesso istante a prescindere da quanto è stata utilizzata la risorsa;

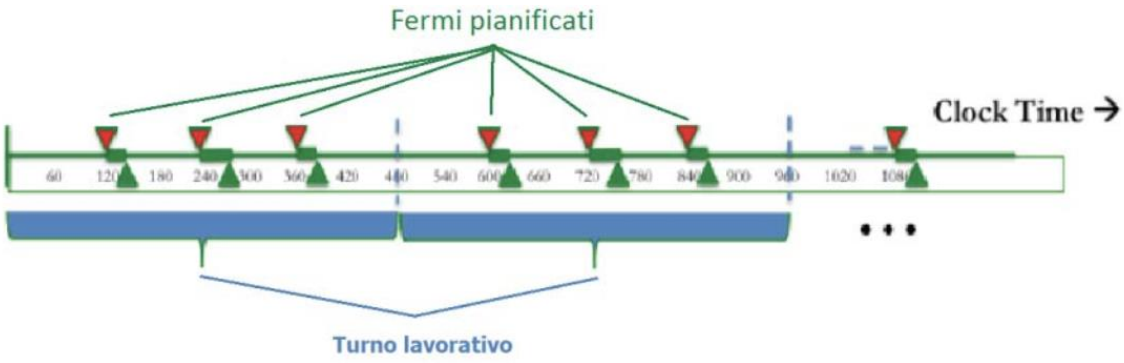


Figura 28: Fermi pianificati

- i fermi non pianificati sono introdotti tramite l'MTBF Table. In genere, non accadono secondo un piano ma sono eventi casuali. La durata è sconosciuta ed è spesso rappresentata tramite una variabile casuale. Non si basano sul clock time ma sugli stati della risorsa e sul tempo di utilizzo.

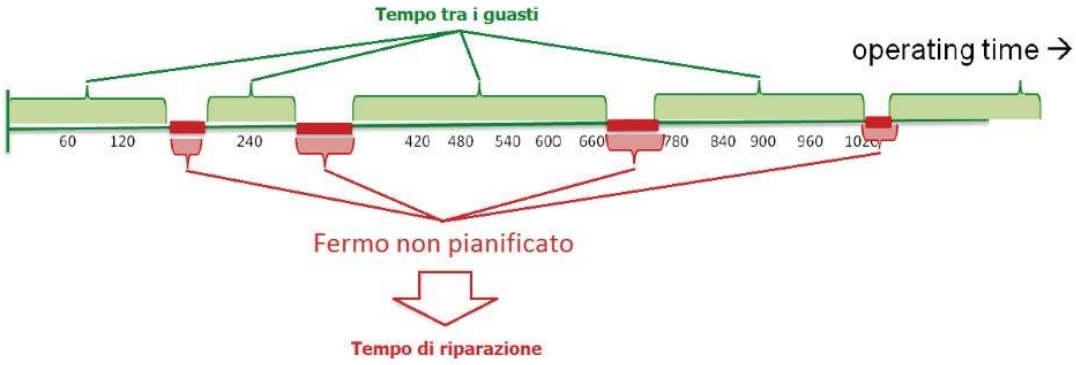


Figura 29: Fermi non pianificati

Time tables

Durante la simulazione, gli oggetti possono funzionare o fermarsi a seconda dell'ora del giorno. Per esempio, gli operatori non sono disponibili durante le pause oppure la fabbrica lavora solo per due turni al giorno e si ferma la notte o nei fine settimana.

Questa dinamica è pianificata secondo determinati turni lavorativi che è possibile gestire tramite le time table. Ciascuna time table può controllare più oggetti e ciascun oggetto può essere controllato da più time table.

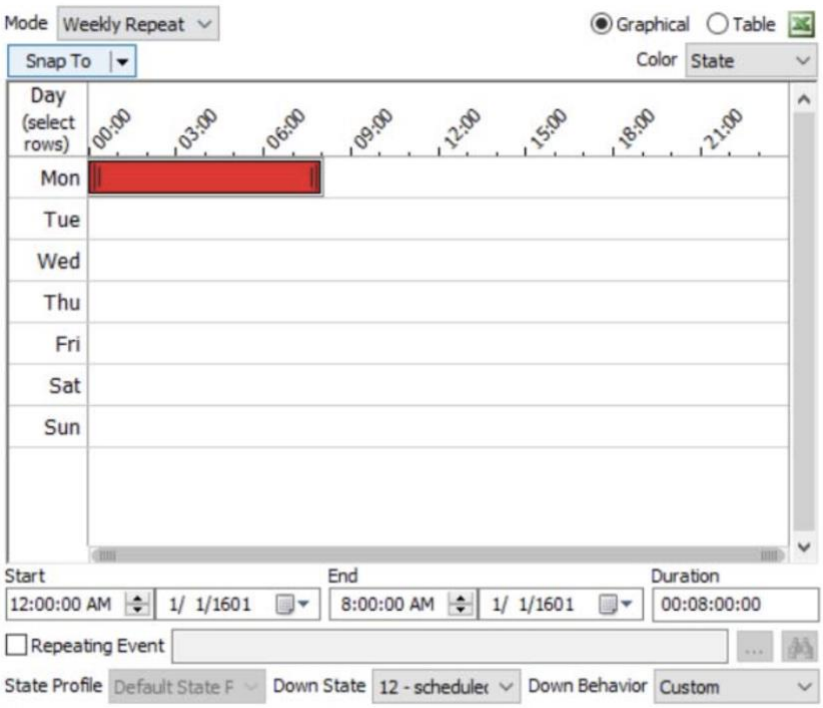


Figura 30: Time table

MTBF tables
Introduciamo le seguenti definizioni:

- MTBF - Mean Time Between Failure: tempo medio che intercorre tra due guasti
- MTTR - Mean Time To Repaire: tempo medio che occorre per riparare un guasto
- Disponibilità: percentuale di tempo in cui la risorsa lavora come ci si aspetta. È definita come il rapporto tra il tempo effettivo di funzionamento e il tempo totale.

L'MTBF e l'MTTR sono in genere i valori medi delle distribuzioni statistiche che caratterizzano questi due tempi casuali. Per questo motivo è molto utile disporre di dati storici raccolti su un lungo periodo che permettono di calcolare in modo accurato questi due valori.

In Flexsim, le informazioni sui guasti possono essere inserite nelle proprietà dell'oggetto tramite la tab Breakdown. Le tabelle create rappresentano un particolare tipo di guasto e possono essere applicate a diversi oggetti.

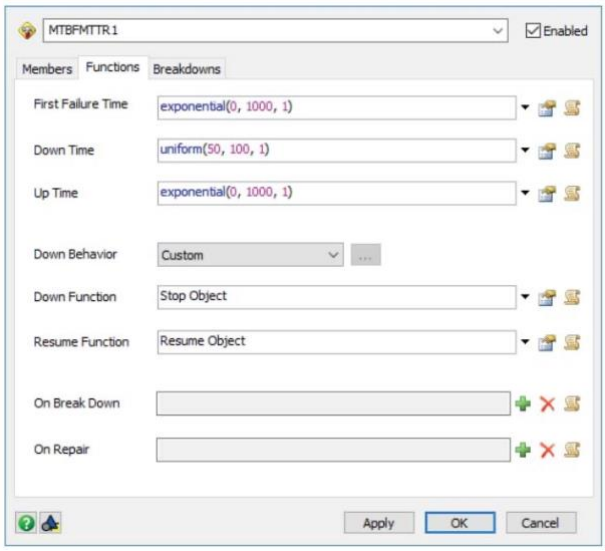


Figura 31: MTBF Table

Gestione dei dati tramite Global Tables
Poichè la simulazione si basa sui dati, è importante sapere come gestirli, sia in input che in output. Una buona pratica è quella di non inserire i dati nella logica interna del modello, ma di utilizzare delle tabelle in modo da poter manipolare più facilmente i dati in input.

Le tabelle in Flexsim possono essere lette e scritte durante tutto il processo di simulazione e possono contenere dati numerici, stringhe, puntatori, vettori, codici o variabili.

GlobalTable1

	Col 1	Col 2
Row 1	0	0
Row 2	0	0
Row 3	0	0
Row 4	0	0
Row 5	0	0
Numbers	12	34
Strings	A	B
Pointers	/Source2	/Queue1
Arrays	Array[1]: {0}	Array[1]: {0}
Bundles	0 entries, []	0 entries, []
Tracked Variables	0	0

Figura 32: Global Table

Dashboard

Il processo di raccolta dei risultati è in genere l'ultima fase del processo di simulazione. Per poter ricavare dei dati significativi dal modello, è necessario stabilire quali sono le metriche fondamentali di interesse. In Flexsim, tutti gli oggetti 3D e le attività del Process Flow raccolgono automaticamente un set standard di statistiche durante la simulazione. In aggiunta alle statistiche standard di ogni oggetto, sono disponibili anche dei grafici che possono raccogliere informazioni statistiche di interesse per l'utente.

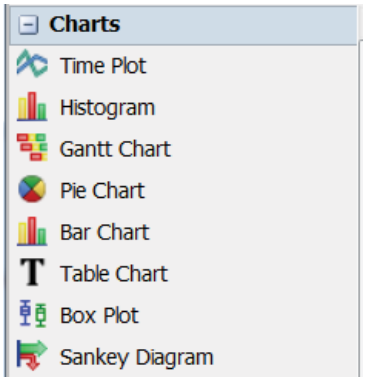


Figura 33: Grafici disponibili nella dashboard

Le tipologie di grafici elencati in Figura non fanno assunzioni sul tipo di dati da raccogliere. Flexsim inserisce nella sua libreria, però, dei modelli che permettono di visualizzare statistiche in modo semplice e veloce in base al risultato che si vuole ottenere.

Di seguito sono descritte le categorie generali di statistiche disponibili:

- Content: traccia la quantità di flowitem che si trova nell'oggetto 3D o il numero di token in un'attività del process flow. Di default, ciascun oggetto restituisce il contenuto corrente, il massimo, il minimo e la media. Generalmente è utilizzato per visualizzare il WIP.
- State: mostra lo stato corrente dell'oggetto 3D. Ogni oggetto può assumere diversi stati: per esempio, un processore può trovarsi nello stato idle, processing altri stati. Generalmente è utilizzato per visualizzare l'utilizzo di una macchina o stazione di lavoro.
- Staytime: traccia il tempo di permanenza di un flowitem in un oggetto 3D o di un token in un'attività. Generalmente è utilizzato per visualizzare i tempi di attesa.
- Throughput: registra quanti flowitem passano attraverso un oggetto 3D o quanti token passano per un'attività.
- Travel: traccia la distanza totale percorsa da una risorsa mobile.

  Per poter iniziare la raccolta dati è necessario aggiungere una dashboard al modello. La dashboard è una finestra vuota nella quale si possono aggiungere tutti i grafici che l'utente vuole visualizzare dalla simulazione. Una volta avviata la simulazione, i grafici inizieranno a raccogliere dati e ad aggiornarsi in tempo reale.

  Alla fine della simulazione si hanno tutti i dati di output desiderati pronti per essere analizzati.

Figura 34: Esempio di statistiche raccolte nella dashboard

Experimenter

I modelli di simulazione sono usati soprattutto per capire il comportamento del sistema quando vengono effettuati dei cambiamenti. Infatti, il modello viene utilizzato per eseguire degli esperimenti. Questi esperimenti si differenziano per la variazione di alcune variabili del sistema, effettuare questi cambiamenti Flexsim ha introdotto una funzione chiamata Experimenter. Questa funzione permette di simulare, costruendo una sola volta il modello, più varianti del modello stesso. Ogni simulazione con diverse variabili è chiamato scenario, ed ognuno di essi viene replicato un numero di volte definito dall'utente per mostrare la validità di esso.

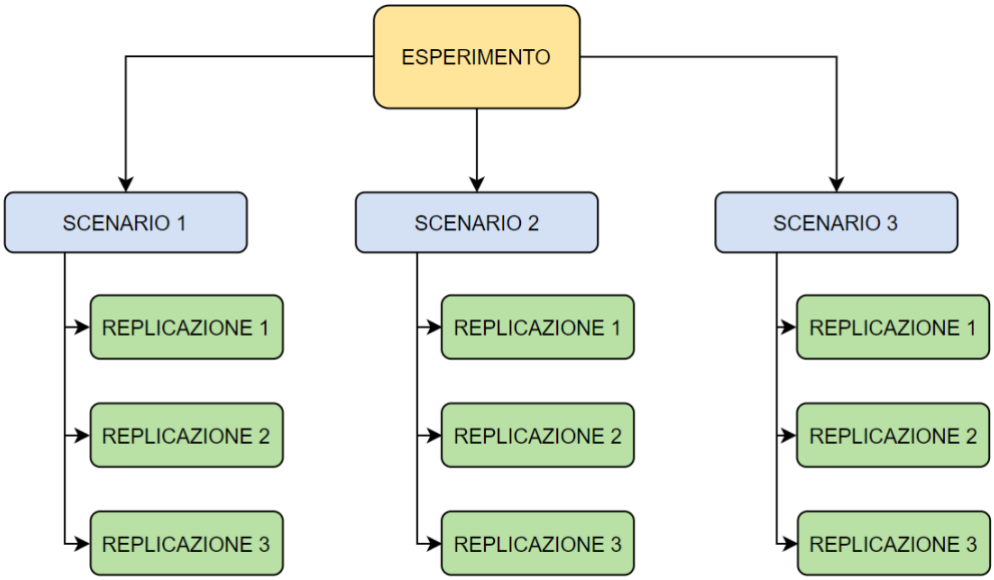


Figura 35: Esperimento, scenari e repliche

INTEGRAZIONE VALUE STREAM MAPPING E SIMULAZIONE AD EVENTI DISCRETI

In questo capitolo verranno analizzati tre casi studio nei quali la VSM e la DES sono stati utilizzati in combinazione in modo da ottenere benefici superiori rispetto al solo utilizzo della VSM nell'analisi di un sistema produttivo.

Caso studio VSM: supporto IVSM e VNM

Questo caso di studio tratta in maniera approfondita dell'estrapolazione dei dati per una simulazione attraverso la VSM.

Introduzione teorica

Il principale ostacolo per la progettazione di una simulazione è il tempo necessario per la data gathering poiché che non è semplice riuscire a collezionare l'ammontare di dati necessario per ottenere un modello di simulazione realistico. Infatti, potrebbe essere necessario estrarre i dati da più fonti e, inoltre, la disponibilità dei parametri dei dati è una variabile da non sottovalutare. Come detto in precedenza in questo elaborato, la Value Stream Mapping è uno dei metodi della Lean production in grado di visualizzare lo stato attuale di un sistema di produzione e di collezionare dati. Per colmare le lacune di questo strumento sono stati implementati altri strumenti i quali possono descrivere sistemi di produzione più complessi e di tipo non lineare. I due strumenti utilizzati in questo caso di studio sono l'Improved VSM (IVSM) e la Value Network Mapping (VNM). Essi, come sarà possibile notare successivamente, sono sfruttati per realizzare una data gathering più intuitiva in ottica dell'utilizzo successivo di una simulazione di tale modello.

La successione di operazioni di questa ricerca è ricapitolata nella figura 36.

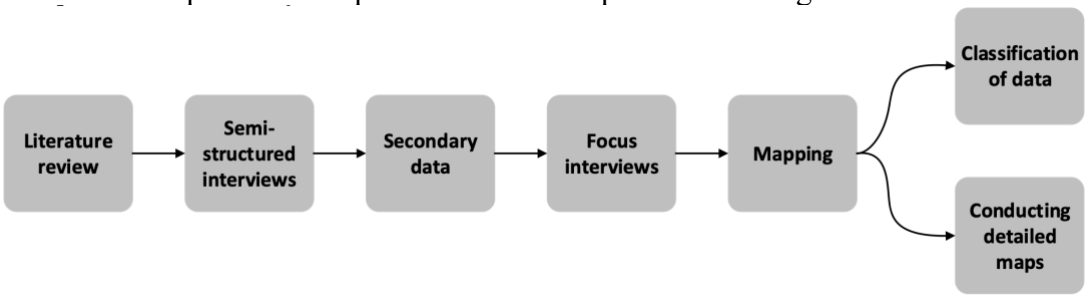


Figura 36: Sequenza di operazioni per la raccolta dati

Come è possibile osservare, dopo una ricerca bibliografica, il passo successivo per eseguire questo lavoro è quello di effettuare un'indagine mediante l'utilizzo di interviste con il personale aziendale in modo da avere un primo feedback diretto e istantaneo riguardo le famiglie di prodotti da analizzare.

I dati secondari sono stati estrapolati dall'ERP aziendale per poter attingere a informazioni attendibili senza dover effettuare ulteriori indagini sulla loro raccolta. In secondo luogo, i dati estrapolati sono stati utilizzati per analisi mirate alla fornitura di materiale in ottica della scelta del prodotto. Vengono interpellati esperti del settore tramite interviste per supportare la selezione del prodotto. Una volta selezionato un prodotto o una famiglia di prodotti può essere

eseguita la mappatura, dopodiché vengono effettuate contemporaneamente la conduzione della mappatura e la classificazione dei dati.

La raccolta dei dati è il primo ostacolo che si deve affrontare per creare un modello di simulazione completo. Questa attività implica una ricerca dei dati per trovare i parametri corretti da inserire come input del modello simulativo. Per questa ragione è molto importante collezionare i dati correttamente, così da creare un modello di simulazione che rappresenti la realtà.

Un ulteriore ostacolo nella costruzione di un modello di simulazione di un nuovo sistema può essere il grado di documentazione e di disponibilità dei dati. I dati del sistema possono essere ben documentati in sistemi basati su computer, facilmente accessibili e da cui è facilmente possibile la loro estrazione. Tuttavia, alle volte è possibile che la raccolta dei dati sia complessa e non facile da attuare a causa di mal organizzazione aziendale. Per questo motivo spesso in un modello di simulazione, l'operazione che richiede maggiore tempo è quella della raccolta dati di input.

La classificazione dei dati: le 3 categorie
Effettuando il processo di data gathering è possibile riscontrare un problema piuttosto comune in queste situazioni, ovvero quello della mancanza di dati per rappresentare gli elementi del sistema in questione. Per ovviare a questo problema è stata stipulata una classificazione dei dati basandosi sulla loro disponibilità e facilità di recupero.

È possibile suddividere i dati in tre categorie come è mostrato nella Figura 37.

Category	Description
A	Available
B	Not available but collectable
C	Not available and not collectable

Figura 37: Classificazione dei dati in base alla disponibilità

Categoria A

In molti casi i dati che vengono ricercati sono stati precedentemente raccolti per altri obiettivi, ma prima di poter utilizzare questi dati è necessario verificarne la fonte. Dando validità alla fonte ci si assicura che i dati in questione siano dati estraibili e validi per il nostro scopo.

Categoria B

I dati di questa categoria sono intermedi tra la categoria A e la successiva C, infatti possono non essere presenti nel sistema ma possono essere raccolti sul campo. Ci sono vari metodi per la raccolta di dati, il più utilizzato è quello della misurazione dei tempi attraverso l'uso di un cronometro, ma altre possibilità sono date dall'analisi video e dagli studi di frequenza. Questo genere di dati implica un gran dispendio a livello di tempo dato che è necessario calcolare/prendere questi tempi da zero.

Categoria C

Questa categoria implica la stima dei dati, generalmente questo processo a livello temporale non è dispendioso come quello precedente quando vi è la presenza a supporto di esperti del settore. Vi sono 3 possibili attività per supportare il lavoro di stima dei dati:

- Confronto con chi ha esperienza in quello specifico parametro.
- Confrontarsi con aziende simili del settore per fare una stima sui loro dati.
- Dati standardizzati i quali sono stati memorizzati e salvati per questo uso.

Metodi di mappatura

La VSM può essere utilizzata per sistemi di produzione con flussi lineari e non può reagire ad una struttura di prodotto complessa e non lineari. Molte aziende hanno un'impostazione che la VSM non può rappresentare a causa della tipologia "alta varietà - basso volume". Infatti, la mappatura di più prodotti che hanno flussi di materiali differenti è un problema che la VSM non riesce a gestire. L'IVSM e VNM, invece, sono due strumenti creati per facilitare la mappatura per sistemi di produzione più dinamici con flussi non lineari.

IVSM

L'IVSM è un metodo che combina la VSM con degli strumenti ingegneristici legati alla manifattura con un procedimento iterativo. Questo strumento viene applicato nella gestione di complicati Bill of Material (BOM) e di flussi di fusione (es. prodotti multipli con percorsi non identici). IVSM si svolge in sette diversi passaggi, i quali vengono svolti passo-passo fino al raggiungimento dell'obiettivo prefissato. Una volta che si è raggiunto l'ultimo step non è possibili effettuare ulteriori modifiche. Nella figura 38 viene visualizzata la sua struttura.

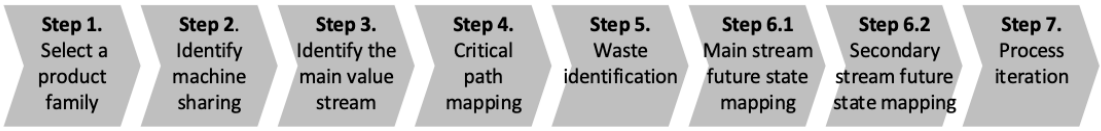


Figura 38: Procedura di IVSM comprendente sette fasi del processo iterativo.

Nella figura 39 vengono rappresentati i passaggi da effettuare nella IVSM e i loro relativi strumenti.

Description of step 1-4	Tools
Analysis of volume or revenue for each product family.	Pareto-diagram, Machine-Part Matrix (MPM), Multi-Product Process Chart (MPPC)
Identify shared equipment by several product families that are probably constraints of the flow.	Analyzing routing Rearranged MPM
A critical value stream should be identified for a system with multiple flows merging.	BOM Total Lead Time
Mapping of the critical path highlighting shared resources and percentage of respective product.	VSM procedure and standard icons

Figura 39: Descrizione delle fasi 1-4 dell'IVSM e degli strumenti applicabili

VNM

VNM è un metodo di mappatura utilizzato principalmente per linee produttive in cui i flussi sono multipli e si fondono. Esso può rappresentare i flussi di valori uguali/simili creandone uno che li racchiuda entrambi (considerando anche la Bill of Material di tutti i componenti). Nella figura 40 sottostante sono rappresentati i passaggi della VNM.

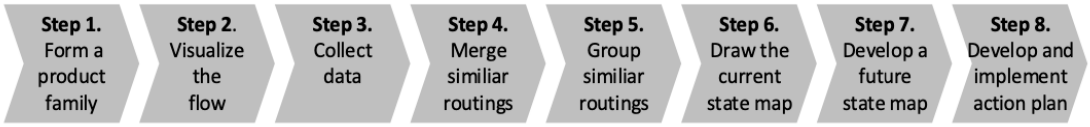


Figura 40: Procedura della VNM che comprende otto fasi

Questo caso di studio ha il focus sui primi 5 step della VNM, ovvero fino alla decisione della famiglia di prodotti da selezionare per la mappatura.

La figura 41 sottostante spiega e riassume i primi 5 passi.

Description of step 1-5	Tools
The relationship between product and process need to be analyzed for BOM structures.	Product-Process Matrix (P-P Matrix) Product-Component Matrix (P-C Matrix)
Routing of the component in the same product family is mapped and visualized in the physical factory layout.	BOM, Operations Process Chart, Multi-Product Process Chart (MPPC), Flow Diagram
Information about the operation, storage, transport, delay and inspection steps are recorded.	Enhanced Flow Process Chart (FPC)
Similar flows are merged to limit the no. of flows.	Modified Multi-Product Process Chart (MMPCC)
Components with the same routing are grouped.	Machine-Part Matrix (M-P Matrix)

Figura 41: I 5 step della VNM con relativi strumenti

Approccio della raccolta dati

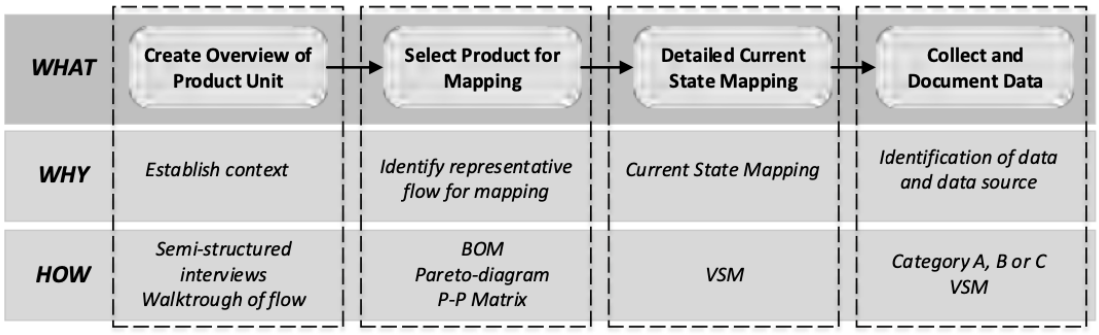


Figura 42: Approccio che combina VSM, IVSM e VNM con un passo finale in cui la classificazione dei dati

La figura 42 identifica l'approccio necessario per la data gathering per questo caso di studio. Si tratta di una combinazione di VSM, IVSM e VNM e, inoltre, sono stati selezionati strumenti per dare supporto strumenti della selezione del prodotto per la mappatura.

Il focus che viene posto principalmente è la selezione della famiglia di prodotti, dato che esso è una chiave di svolta fondamentale per la gestione di un sistema di produzione complesso. Per

quanto riguarda la distinta base, essa fornirà i dati e le informazioni necessarie per determinare le relazioni tra i prodotti e le interdipendenze tra le fasi di produzione. Il diagramma di Pareto, nella IVSM, fornisce la possibilità di effettuare un'analisi ad alto volume per ogni prodotto considerato. La matrice P-P, rapporto prodotto-processo nella VNM, metterà in evidenza il flusso del prodotto e renderà possibile il confronto tra fasi del processo per prodotti simili. I risultati ottenuti in questa parte verranno utilizzati per selezionare la famiglia di prodotti per la VSM.

Caso specifico: Ruag space group

RUAG Space Group, in Svezia, è un'azienda operante nel mercato dei satelliti nel settore telecomunicazioni. Lo stabilimento di produzione di Göteborg è un fortemente specializzato nella produzione di componenti satellitari di comunicazione, i quali vengono prodotti con elevata qualità, un'alta possibilità di personalizzazione e i volumi contenuti. Per la produzione di questi prodotti è necessaria, attualmente, un alto grado di lavoro manuale e inoltre vengono effettuati delle prove specifiche per ogni prodotto in modo tale da soddisfare ogni esigenza del cliente. A causa dei cambiamenti continui del mercato, in futuro sarà richiesto uno sviluppo verso una produzione maggiormente industrializzata con volumi aumentati e tempi di consegna minori e con costi contenuti.

Ricerca prodotto da selezionare

Come detto nella parte teorica precedente sono state effettuare delle interviste per comprendere l'organizzazione della produzione del prodotto da selezionare. La figura 43 rappresenta lo stato gerarchico del prodotto suddivisa su 3 livelli differenti. Le operazioni al terzo livello creano un sottoprodotto RF di assemblaggio e un sottoprodotto di assemblaggio LO, i quali a loro volta vengono assemblati per produrre un assemblaggio coperto RF al secondo. Infine, nell'ultimo livello viene composto il prodotto A, indicato come Top Assembly nella figura 43.

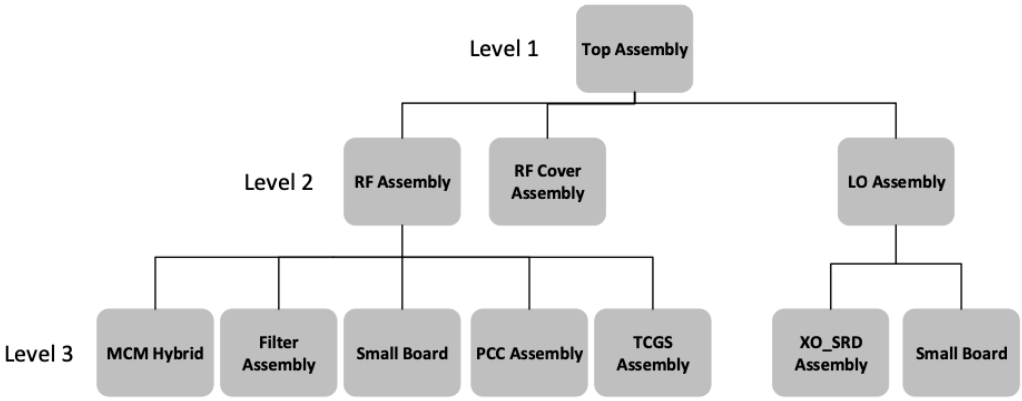


Figura 43: Gerarchia del prodotto A

La gerarchia della produzione del prodotto A è composta da cinque operazioni: assemblaggio, test ambientali, ispezione, garanzia della qualità del prodotto e test. Essendo una serie di operazioni con alto grado di manodopera e alta flessibilità, la produzione del prodotto A è caratterizzata da un basso livello di automazione industriale. Questo prodotto ha la possibilità di essere costruito in quattro differenti varianti, ma dato che i clienti richiedono un'alta

personalizzazione non vi sono quasi mai prodotti identici. Questo genere di domanda di prodotto personalizzato comporta una maggiore possibilità di varianti, per questa ragione il prodotto A è un Engineering to Order nella maggior parte dei casi.

Struttura della distinta base

La BOM (distinta base) del prodotto A, Figura 44, comprende al suo interno informazioni sul numero di parti, sulla descrizione delle parti, informazioni sul tipo di parte e sul numero di parte madre e la loro classificazione. In questo studio vengono prese in considerazioni solo le parti prodotte poiché sono quelle che danno la possibilità di avere un riscontro sul valore aggiunto.

Nella descrizione di una parte sono presenti le informazioni sulla specifica parte necessaria per la realizzazione di uno specifico progetto. Quando viene analizzato il flusso, esso fornisce le informazioni per identificare a quale sottoinsieme appartiene la parte.

Part No	Description	Qty per	Part Type	Parent Part No	Classification
1000062627	KRX1 TOP ASSY		Manufactured	*	TOP ASSY
1000060243	RF COVER ASSY REC (D GASK PROF)	1	Manufactured	1000062627	Board & Filter
1000062632	RFKRX1 ASSY	1	Manufactured	1000062627	RF Unit
1000062637	LOKRX1 ASSY	1	Manufactured	1000062627	LO Unit
1000027247	RFIF HYBRID ASSY (14/12) Ceramic, 1	1	Manufactured	1000062632	MCM
1000033518	IFOP HYBRID ASSY (12 GHZ) CERAMIC,	1	Manufactured	1000062632	MCM
1000060382	LNA HYBRID ASSY (14 GHZ) Kovar, 3 t	1	Manufactured	1000062632	MCM
1000062935	PCCP100AIR PW ASSY	1	Manufactured	1000062632	Board & Filter

Figura 44: Distinta base del prodotto A

Selezionare il prodotto per la mappatura

In questa fase sono necessari ordini di produzione per l'analisi della selezione del prodotto che verrà mappato. Estrapolando dal sistema ERP aziendale i dati relativi agli ordini di produzione del periodo 2013-2017 sono stati visualizzate tutte le informazioni necessarie per la rappresentazione del prodotto come il numero d'ordine, il nome e l'id del progetto, la descrizione del pezzo, l'unità di prodotto e la classificazione.

Order No	Project Name	Project ID	Part Description	Product Unit	Classification	Part No
42158	Project 1	P1	IFOP HYBRID GROUP C TEST	A	MCM	1000047117
43238	Project 2	P2	CC TOP ASSY FM	A	TOP ASSY	1000066613
43239	Project 2	P2	CC TOP ASSY FM	A	TOP ASSY	1000066613
43240	Project 2	P2	CC TOP ASSY FM	A	TOP ASSY	1000066613
43113	Project 3	P3	IP LO FILTER 3.55 ASSY FM	A	B&F	1000046772
42902	Project 3	P3	IP LO FILTER 1.6 ASSY FM	A	B&F	1000046792

Figura 45: Foglio Excel con gli ordini di produzione del prodotto A estratti dal sistema ERP

Dopo aver analizzato i dati estrapolati dall'ERP è stato individuato quale prodotto A avesse la quota più alta in termini di volumi.

Analisi ad alto volume

In questa sezione è stato creato una diagramma di Pareto per ogni classe di prodotto. I dati relativi ad ogni classe sono stati estratti dal documento Excel proveniente dall'ERP (esempio CC TOP ASSY FM appartiene a TOP ASSY). Così facendo è stato possibile studiare la distribuzione dei volumi dei tipi di parte per ogni classe al fine di effettuare un'analisi ad alto volume per ogni classe.

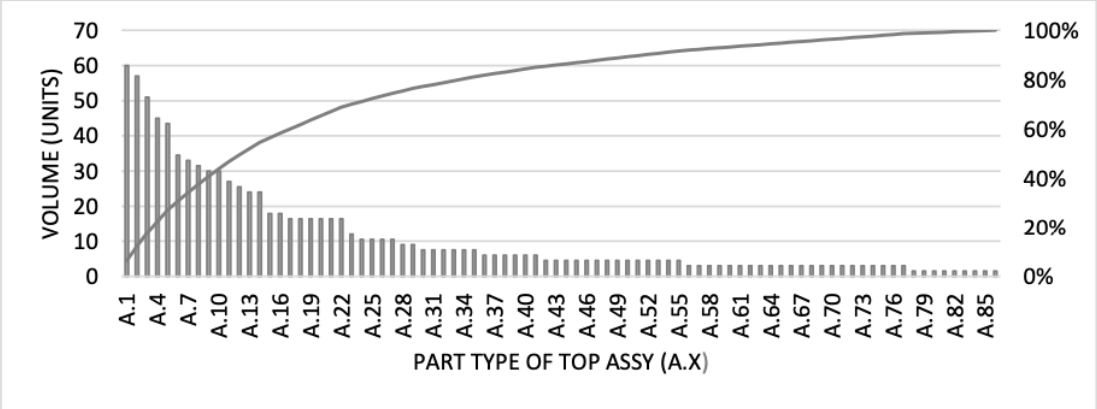


Figura 46: Diagramma di Pareto TOP ASSY Prodotto A

Nel diagramma di Pareto ogni colonna rappresenta le unità totali di TOP ASSY negli ultimi quattro anni, mentre le righe rappresentano le quantità di ogni pezzo per ogni prodotto. È possibile notare dal grafico che sono presenti delle tipologie di componenti che formano la maggior parte del volume totale. Le 8 varianti con volumi maggiori sono state prese per rappresentare la seguente matrice P-P.

Matrice P-P

La figura 47 rappresenta la matrice P-P, nella quale vi sono i processi posti sulla prima riga e la tipologia di pezzo sulle colonne. Si può notare che per la TOP ASSY non è possibile riscontrare flussi uguali o simili, l'unico riscontro è la presenza continua dello stesso centro di lavoro, ma questo è dovuto alla fase di ispezione che viene effettuata dopo ogni lavorazione.

Process / Product	Object Manager	Kitting	Manual Assy Electr.	Mech. Measurement	Top Assy Inspection	Top Assy Test Eng.	Top Assy Acc. Test	Top Assy Test Eng.	Top Assy Acc. Test	Manual Assy Electr.	Top Assy Inspection	Top Assy QC	Manual Assy Electr.	Top Assy Acc. Test	Manual Assy Electr.	Top Assy Acc. Test	Manual Assy Electr.	Top Assy Inspection	Top Assy Acc. Test	Mech. Measurement	Top Assy Inpsection	Manual Assy Electr.	Top Assy QC	Object Manager	Manual Assy Electr.	Top Assy Inpsection	Manual Assy Electr.	Top Assy Inpsection	Top Assy QC	Object Manager
Product A.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x			x	x	x	x
Product A.2	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x			x
Product A.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		x	x			x	x	x	x
Product A.4	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x
Product A.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x			x
Product A.6	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x			x
Product A.7	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x			x
Product A.8	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x			x

Figura 47: Matrice processo-prodotto per TOP ASSY

Interviste

Nonostante la raccolta di informazioni riguardanti le partizioni di volume all'interno di ogni classe e il rapporto tra prodotto e processo, non è risultato chiaro quale fosse il prodotto da selezionare. La matrice P-P mostra che non vi è la presenza di flussi identici per diverse parti e quindi i flussi non possono essere raggruppati per eseguire una mappatura facilitata. Coinvolgendo il gruppo di personale considerato precedentemente è stata presa una decisione: selezionare il volume più rappresentativo, il più alto volume, al livello superiore della struttura del prodotto come il l'unità genitore e la parte al livello gerarchico inferiore deriva da questa decisione. È stata effettuata questa decisione dato che il prodotto A.1 corrisponde al volume più altro nel diagramma di Pareto.

Current State Map (CSM)

Per poter comprendere a livello operativo a pieno il flusso del processo del prodotto A.1 è stato estratto il suo percorso prima dell'opera di mappatura. La mappatura ha mostrato diverse sotto-funzioni: assemblaggio, test ambientali, ispezione, garanzia di qualità del prodotto e test.

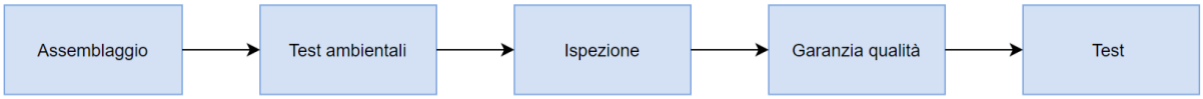


Figura 48: Flusso di processo CSM

All'interno delle VSM sono stati presi parametri utili per dati di input della simulazione come tempo di processo, il tempo di ciclo, il cambiamento nel tempo, la dimensione del lotto, il numero di operatori, la risorsa dedicata o condivisa, il tasso di scarto, il WIP e le distanze di trasporto.

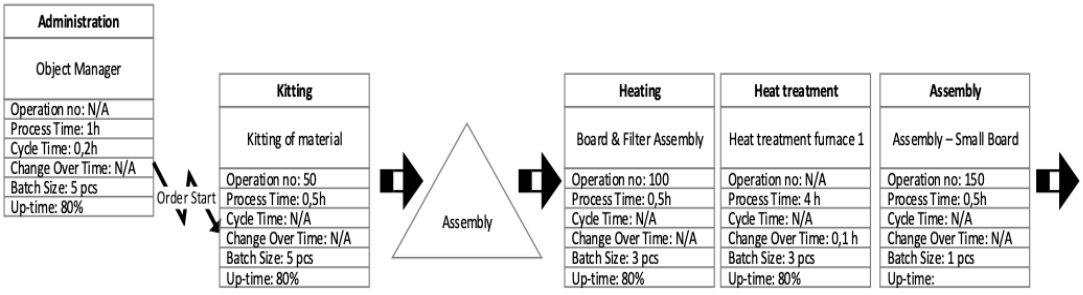


Figura 49: Esempio di flusso secondario VSM

Classificazione dei dati
Dopo aver effettuato le operazioni di mappatura l'ultimo passo è quello di rappresentare i dati raccolti in tabelle nelle quali viene posto il focus sul tipo di categoria in cui rientra e sulla disponibilità dell'informazione come è stato rappresentato nella figura 50.

Data parameter	A	B	C	Data source
Process time (P/T)	X			ERP-system
Cycle time (C/T)	X			ERP-system; process time/batch size
Change over time		X		Measure with stopwatch or estimate
Batch size	X			ERP-system/Manufacturing order
No. of operators	X			Data from manager for the production segment
Scrap rate			X	Non-conformance report (NCR)
WIP			X	Manually count WIP in the value stream
Transport distance		X		Measure in either 2D-drawing or physically in the workshop

Figura 50: Classificazione dei dati in base alla disponibilità

Conclusione
Analizzando i dati è risultato che la selezione del prodotto non è un processo semplice, l'utilizzo di IVSM e VNM ha semplificato questo processo, attraverso il diagramma di Pareto e la Matrice P-P supportare questa fase. Infatti, la combinazione VSM con IVSM e VNM è una combinazione valida per il supporto di raccolta dati iniziale dato che quest'ultimi due strumenti forniscono vantaggi per selezionare la famiglia di prodotti da mappare. Tuttavia, si è notato che nonostante l'utilizzo di questi metodi la conoscenza aziendale è fondamentale per poter sviluppare correttamente una Value Stream Mapping, infatti le interviste ai dipendenti sono state l'elemento di svolta per la scelta del prodotto.
[5]

Caso studio: VSM dinamica

In questo articolo viene affrontato il tema dell'utilizzo della VSM integrato ad un modello simulativo per creare quella che viene definita una VSM dinamica.

Introduzione teorica

Ultimamente la simulazione è stata integrata per l'implementazione di VSM dinamici che danno la possibilità di esplorare e verificare vari scenari senza dover effettuare reali cambiamenti sulle linee. Numerosi studiosi hanno accertato il fatto che la VSM sia in grado di concepire dati sulla natura dinamica degli stabilimenti produttivi e in questo modo anche di diminuire le attese di valutazione di eventuali modifiche eseguite sul sistema. Un altro importante uso della simulazione è quello di procurare informazioni sulla necessità di risorse e di prestazioni, riuscendo allo stesso tempo a mantenere la flessibilità di applicazione a vari ambiti organizzativi. Grazie alla possibilità di inserimento della variabilità attraverso la simulazione, essa può essere applicata per gestire l'incertezza e creare una visione dinamica dei livelli di stoccaggio, dei tempi di consegna e dell'utilizzo delle stazioni di lavoro per svariate future state map. Con queste peculiarità quindi la simulazione consente di avere una visione anche sul risparmio a livello economico.

L'uso della VSM in questo caso e della simulazione è stato testato su un impianto di produzione metallurgico. I vari passaggi sono indicati in seguito:

- Selezione del prodotto.
- Raccolta dati presso i vari centri di lavoro (produzione, pianificazione della produzione, logistica, manutenzione e acquisti).
- Sviluppo della mappa del flusso del valore attuale dello Stato (CSM).
- Sviluppo del modello di simulazione.
- Analisi dei rifiuti magri con il modello di simulazione.
- Proporre la Mappa del flusso di valore futuro (FSM).

Caso studio specifico: azienda metallurgica

Individuazione Prodotto

Come in ogni VSM il primo passo da effettuare è quello di individuare la famiglia di prodotti (gruppo di prodotti che passa attraverso fasi di lavorazione simili e su apparecchiature comuni nei processi a valle da voler mappare). Per lo svolgimento di questa fase viene utilizzato come strumento l'analisi della quantità PQ (Product-Quantity). Per visualizzare questa quantità viene utilizzato il diagramma di Pareto visualizza l'analisi PQ utilizzando il grafico di Pareto per dividere i prodotti non problematici da quelli critici.

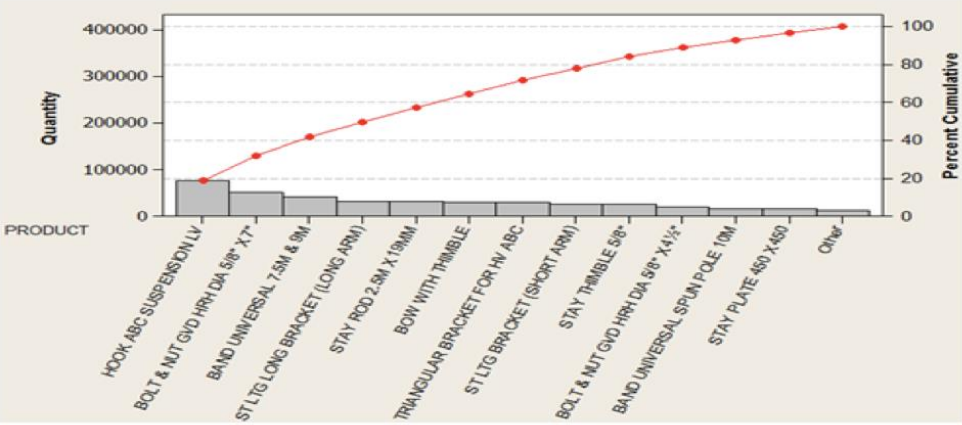


Figura 51: Diagramma di Pareto per l'analisi della quantità di prodotto

I dati visualizzati dalla figura 51 Rendono possibile visualizzare una combinazione di otto prodotti

- Hook ABC Suspension LV,
- Bolt & Nut GVD HRH Dia 5/8" x 7",
- Band Universal 7.5m & 9m,
- St Ltg Long, Bracket (Long Arm),
- Stay Rod 2.5m x 19mm,
- Bow with Thimble,
- Triangular Bracket For HV ABC,
- St Ltg Bracket (Short Arm).

Questi prodotti insieme formano l'80% del totale prodotto dall'azienda. Inoltre, il grafico mostra come il 20% di tutti i prodotti rappresenti l'80% del prodotto totale.

Continuando a lavorare sull'analisi PQ si può creare la Matrice P-P, la quale ci aiuta a comprendere i passaggi produttivi di ogni famiglia di prodotti. La figura sottostante mostra gli otto prodotti e i processi che essi vanno ad eseguire.

Qty.	PROCESS / PRODUCT	Cutting	Stamping	Rolling	Threading	Welding	Platting	Assembly	Resupply
77000	Hook ABC Suspension LV	X	X		X		X	X	
52000	Bolt & Nut GVD HRH Dia 5/8" x 7"								X
42000	Band Universal 7.5m & 9m		X				X	X	
32000	ST LTG Long Bracket (Long Arm)	X	X	X		X	X		
31000	Stay Rod 2.5m x 19mm	X			X		X	X	
29500	Bow With Thimble	X	X				X	X	
29000	Triangular Bracket For HV ABC		X				X	X	
26500	ST LTG Bracket (Short Arm)	X	X	X		X	X		

Figura 52: Matrice di instradamento dei prodotti di fabbricazione del metallo

Selezione del prodotto - Gancio ABC Sospensione LV

Dopo aver effettuato le due analisi precedenti e dopo essersi confrontati con il management è stata presa la decisione di rappresentare sulla CSM la famiglia di prodotti Hook ABC Suspension LV. Attualmente la domanda del cliente è di 77000 pezzi ogni 3 mesi (per ordine) o 25.667 unità al mese.

La Figura 53 mostra i componenti di base della sospensione Hook ABC.

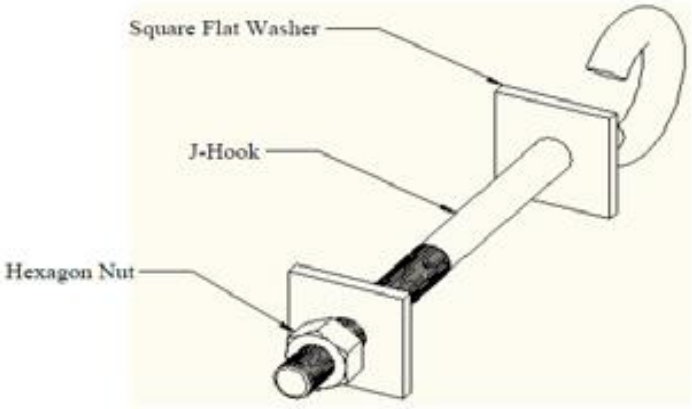


Figura 53:Componenti di base della Hook Suspension ABC LV

Raccolta dati

Nella figura 54 viene rappresentato il flusso di lavorazione che il prodotto esegue.

Il flusso di materiale viene inserito nella zona di ricevimento e viene processato fino ad arrivare alla zona di spedizione.

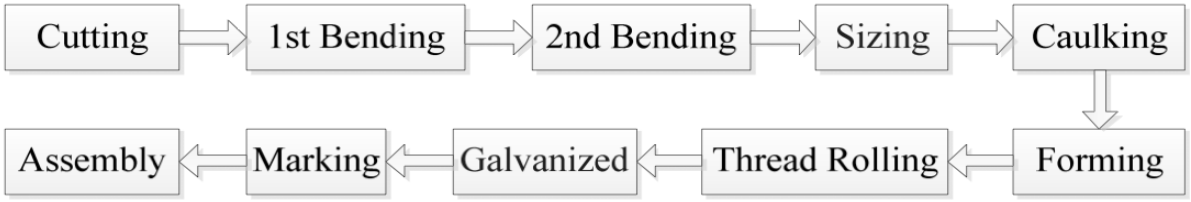


Figura 54: Flusso di processo per Hook ABC Suspension LV

Oltre alle informazioni sul flusso di lavorazione sono state collezionate informazioni sulle risorse indispensabili per creare il prodotto. Questo viene effettuato per comprendere la natura della produzione. Il processo dal taglio fino alla rullatura del filo viene effettuato nella stessa fabbrica, mentre la zincatura del prodotto necessita di una lavorazione eseguita in un altro stabilimento. Questo crea un tempo di attesa elevato per il cliente. Infatti, dopo essere stato zincato, il pezzo deve percorrere il percorso inverso per completare la lavorazione nella fabbrica di partenza. Qua effettuerà un processo di marcatura e di assemblaggio per poi essere mandato alla stazione di imballaggio e infine per essere spedito al cliente. Per ogni macchinario vengono raccolte informazioni sul tempo di ciclo, sul tempo di set up, sulla disponibilità e sul tempo di attività dell'operatore su ogni macchina.

Current State Map (CSM)

La figura 55 rappresenta la CSM della linea e nelle caselle vengono riportate tutte le informazioni raccolte precedentemente come il nome dell'operazione, il numero di operatori richiesti, il tempo di ciclo (C/T), il tempo di set up (C/O), il tempo totale disponibile e la percentuale di tempo di attività. Il tempo di ciclo è calcolato in sec/batch. Il tempo di set up deriva da stime fornite dal personale di produzione. Il turno è considerato su un tempo di produzione di 8 ore per turno senza la presenza di pause o interruzioni.

Dalla CSM si estrapolano informazioni come il tempo di produzione totale di 13 giorni. Il tempo totale di lavorazione, il valore aggiunto, è di 168 secondi. Questo implica che per produrre un pezzo Hook ABC Suspension LV è necessario lo 0,04% del tempo di produzione totale. Sulla base di quest'ultima informazione è stato calcolato che il 99,96% del Lead Time totale di produzione è formato da scarti e ha perciò ci sono ampi margini di miglioramento.

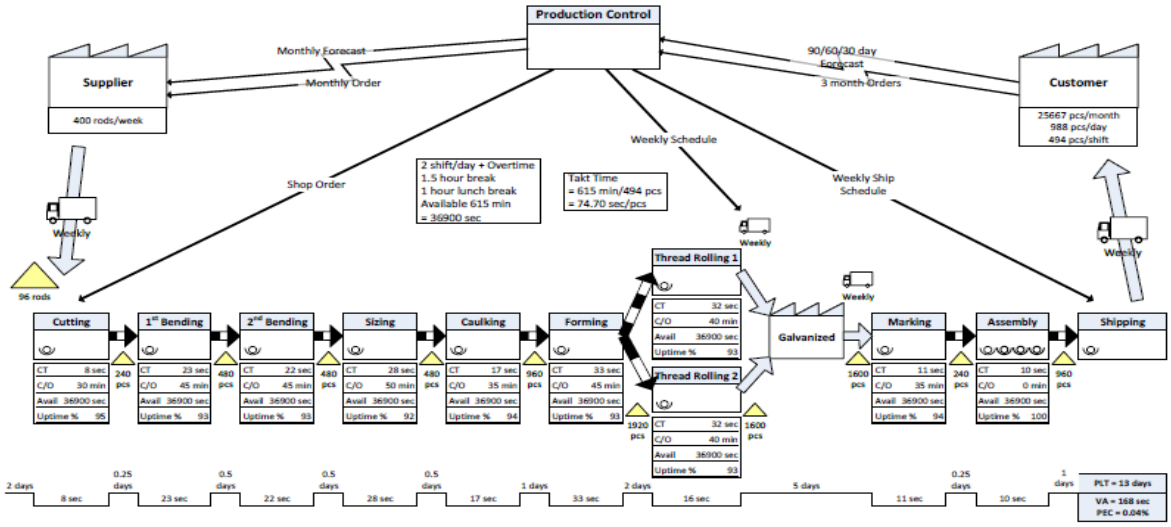


Figura 55: Stato attuale VSM (CSM) di Hook ABC Suspension LV

Sviluppo del modello di simulazione

Per creare un modello di simulazione ad eventi discreti è necessario inserire come dati di input come il tempo di ciclo, il tempo di elaborazione, il tempo di set up programmato, il tempo totale di fermo macchina e l'inventario. Sono presenti due diverse versioni del modello, la prima è una versione di vista della struttura, dove vengono descritte le stazioni di lavoro e il resto dello stabilimento.

La seconda versione è una vista dal punto di vista del prodotto, nella quale viene mostrato il flusso di processo nella struttura aziendale. I dati da inserire in questo caso sono collezionati da ogni cella di lavoro o macchina e sono quantità di pezzi richiesti dalle stazioni, data di inizio e data di scadenza per il completamento di un lavoro, tempi di ordinazione per ogni pezzo per le stazioni successive, quantità iniziale per ogni pezzo nei supermercati, tempo di ciclo per ogni operazione, tempo di consegna per i fornitori, quantità e data di arrivo per i pezzi provenienti da fornitori esterni, dimensione del lotto di produzione e riordino per i fornitori esterni, numero di lavoratori e ore di lavoro disponibili.

Uno degli aspetti più ostici del lavoro di simulazione è quello della convalida del modello attraverso la verifica dei suoi output. Per fare ciò si è costruito un diagramma di flusso del modello il quale comprende ogni attività logicamente eseguibile dal sistema all'avverarsi di un evento.

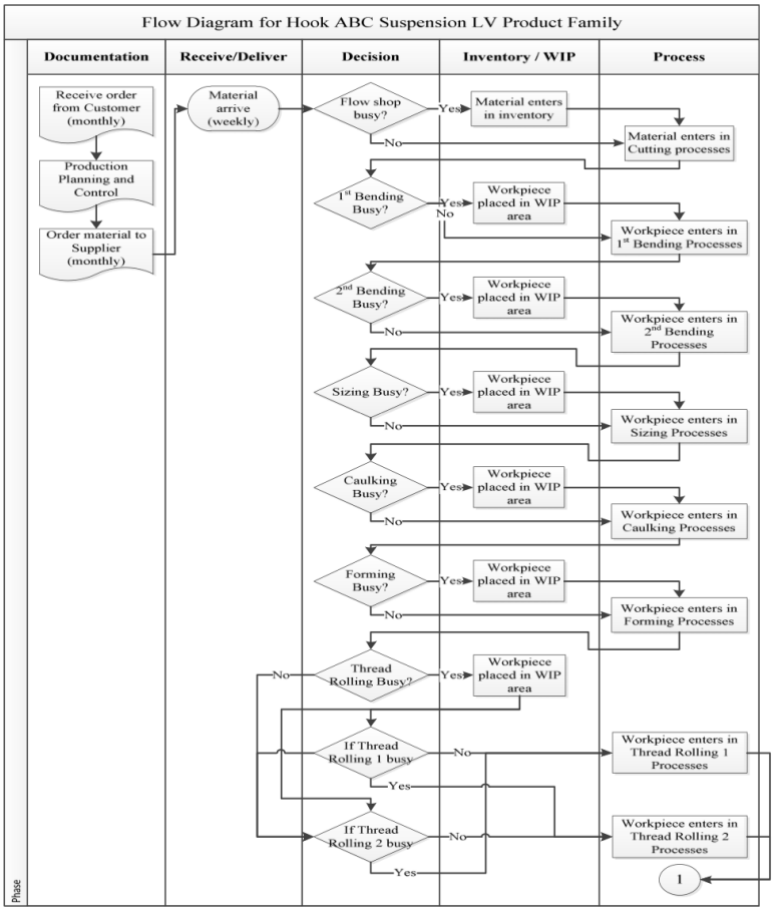


Figura 56: Diagramma di flusso parziale della vista del prodotto

Il flusso comincia dopo l'ordine di un cliente per un contratto trimestrale. Successivamente il controllo della produzione riceve l'ordine ed effettuerà l'ordine di materiale al fornitore nel giro di un mese. Il fornitore manda settimanalmente il materiale allo stabilimento che provvederà ad inserirlo nel magazzino in attesa di essere processato. Fatto ciò, i pezzi vengono introdotti nel processo produttivo. Al termine della lavorazione il prodotto sarà collocato nel magazzino in attesa della consegna settimanale ai clienti.

In questa fase si è pronti per la creazione del modello di simulazione dato che tutti i dati sono stati raccolti ed è stato costruito anche un diagramma logico per comprendere a pieno il flusso di valore. Il modello creato è stato poi validato dopo 10 repliche per essere certi che rispecchi la realtà, i risultati sono rispettivamente 7,82 secondi e 7,83 secondi. Questi valori sono stati ritenuti non troppo significativi, pertanto si è deciso di validare il modello e di implementare la future state map.

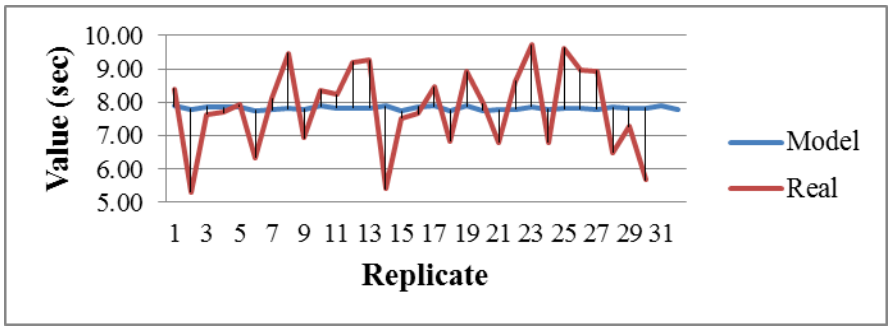


Figura 57: Convalida del modello, Risultati della replica

Future State Map (FSM)
Il focus è quello di creare una linea di produzione dove le stazioni di lavoro sono collegate tra loro con un flusso continuo e con metodologia pull. Successivamente vengono poste delle domande strutturate e mirate attraverso le quali si può impostare una metodologia per implementare una FSM. Sulla base delle risposte, l'idea di stato futuro viene segnata direttamente sulla mappa di stato attuale e, dopo aver esplorato le possibili soluzioni, è possibile proporre il FSM.

Come ridurre il collo di bottiglia nel flusso di valore?

Utilizzando la simulazione, si evince che il processo di formatura è il collo di bottiglia principale del processo. Dopo aver consultato il management si è deciso di eliminare il processo di formatura, ridimensionando il processo di dimensionamento. Il risultato dell'eliminazione del processo di formatura è una riduzione dei tempi di 2 giorni (da 13 a 11 giorni), ovvero un miglioramento del 15%.

Dove può essere introdotto il flusso continuo nel flusso di valore?

Per creare un flusso di valore continuo è necessario che il tempo ciclo sia equivalente al Lead time, in questo modo il prodotto non è mai in coda e quindi non vi sono tempi di attesa di lavorazione. Per fare ciò vengono riconfigurate le operazioni 2, 3, 4 (rispettivamente piegatura 1 piegatura due e dimensionamento) in modo tale da eseguirle solo su una macchina, perciò l'operatore dovrà prima effettuare queste tre operazioni e poi potrà passare alla stazione successiva.

Prima Dopo

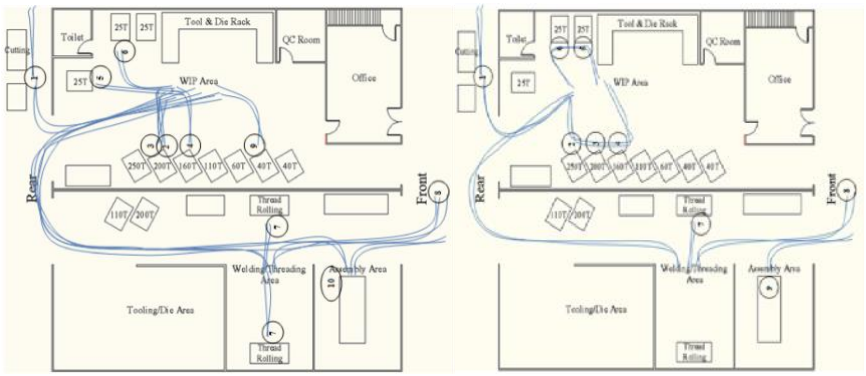


Figura 58: Diagramma degli spaghetti del miglioramento dell'assegnazione prima e dopo la postazione di lavoro

Dove deve essere introdotto il concetto di Kanban?

In questo genere di produzione non esiste un concetto di lotto, per poter inserire un kanban viene creata la concezione di un lotto da 60 unità per soddisfare più agevolmente le richieste del cliente. Questa quantità di 60 unità è stata determinata dai tecnici per ottimizzare un elemento all'inizio del processo (un tondino di acciaio). Dopo che vengono preparati i materiali per far partire un lotto di produzione vengono mandati kanban di questi materiali alla linea per avviare la produzione di un altro lotto.

Dove verrà utilizzato il sistema pull system supermarket nel flusso del valore?

Il sistema kanban introdotto applica i principi del Just in Time, ovvero viene prodotto esattamente ciò che è stato ordinato al tempo richiesto. Sfruttando la risposta alla domanda sul flusso continuo si può pensare di inserire un supermarket in sei punti diversi in corrispondenza dei kanban di produzione. Il primo verrà inserito davanti al processo di taglio il quale viene rifornito settimanalmente con barre d'acciaio. Il terzo kanban viene collocato sulla macchina che ora racchiude le operazioni di piegatura 1, 2 e dimensionamento questo significa che il lotto di 60 unità verrà "tirato" dalla stazione precedente a questa. Il quarto kanban sarà posto nel processo di marcatura, mentre il quinto sarà collocato prima dell'uscita del materiale dalla fabbrica per raggiungere il processo di zincatura esterno. Infine, l'ultimo kanban sarà posto prima della stazione dell'assemblaggio. Ogni contenitore vuoto dei sei kanban verrà rispedito alle precedenti postazioni di lavoro pronto per essere riempito. [8]

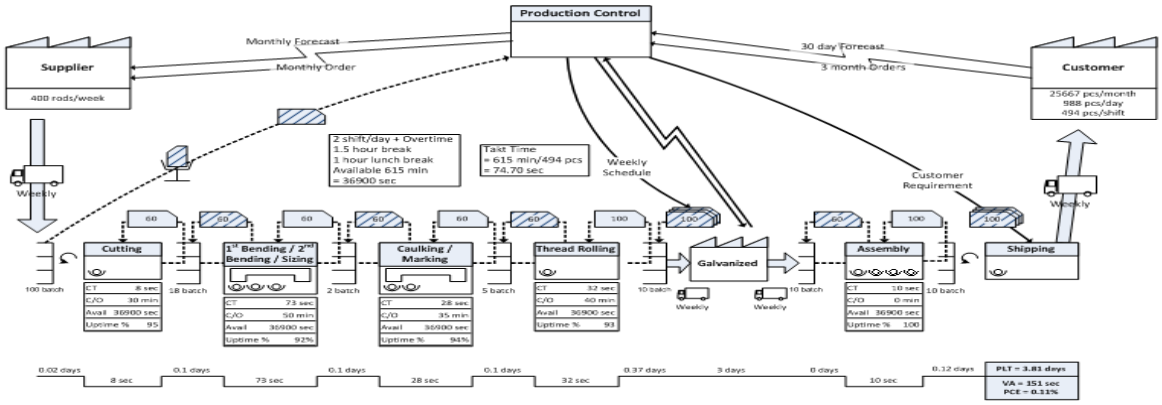


Figura 59: Mappa del flusso del valore dello stato futuro (FSM)

Conclusioni

Analizzando il nuovo sistema proposto si può osservare come siano stati migliorati i processi. La FSM rappresenta riduzione del 70,7% dei tempi di produzione, ovvero da 13 giorni a soli 3,81 giorni. Inoltre, tempo di valore aggiunto è passato da 168 sec a 151 sec (riduzione del 10%). È stato anche ridotto il numero di operatori eliminandone 2 dalla stazione accorpata di 1ª piegatura / 2ª piegatura / dimensionamento e anche l'operazione di calafataggio e marcatura che fa fino al 14% di riduzione sul fabbisogno dei lavoratori. Anche l'efficienza del ciclo di processo con un miglioramento da 0,04% a 0,11%.

Caso studio: ABC Limited

I due casi studio precedenti hanno visto l'utilizzo della simulazione senza dare particolare importanza alla possibilità di incertezza del sistema (variabilità), invece, in questo caso studio affrontato, verrà tenuto conto di questa variabile.

Introduzione all'azienda

La compagnia studiata in questo caso di studio verrà chiamata ABC Limited. Essa è un'unità della "XYZ Limited", la quale ha un'esperienza nel suo settore operante di 30 anni. In India l'azienda ABC ha vari stabilimenti produttivi i quali tutti insieme raggiungono una capacità di produzione pari a 100000 finestre all'anno. Le modifiche che vogliono essere apportate in questo caso di studio riguardano la fabbrica di Hyderabad, nella quale lavorano 80 dipendenti. Questa produce cinque tipi di prodotti:

- finestra a battente;
- porta a battenti;
- finestra scorrevole;
- porta scorrevole;
- ventilatori.

Problemi affrontati

Il problema nasce nel momento in cui il settore edilizio in India vede aumentare di gran numero la domanda. Aumentando la domanda edile, aumenta di conseguenza anche quella di porte e finestre. Negli ultimi tempi, il settore delle costruzioni in India è in forte espansione ed ovviamente aumenta anche la richiesta di finestre e porte. Nell'unità produttiva di Hyderabad la stima di aumento della domanda è di circa 105 pezzi in più al giorno (da 135 a 240). Per far fronte a questo aumento sono stati analizzati vari settori dello stabilimento e il risultato è chiaro: il tasso di produzione attuale non è in grado di soddisfare la futura domanda. Attualmente il numero di pezzi prodotti al giorno è di 135 e lo stabilimento non è in grado di soddisfare la domanda futura prevista. Inoltre, vi è un problema anche legato al numero di pezzi posti negli inventari prima delle celle di lavoro, poiché in media vengono depositati 125 pezzi prima di ogni processore (per un totale di 1000 pezzi al giorno). Per queste ragioni il management aziendale vuole applicare delle tecniche Lean per colmare queste lacune.
Il management ha deciso di applicare tecniche Lean come:
• 5S.
• Kaizen (miglioramento continuo).
• VSM.
• Muda (rifiuti).

Current State Map

Il primo passo per implementare un sistema snello è quello di mappare i flussi di valore all'interno della fabbrica. Per fare ciò viene utilizzata la Value Stream Mapping.
Dopo aver tracciato uno schema della linea produttiva (figura 60), viene definita la Current state map, cioè la mappatura dello stato attuale (figura 61)

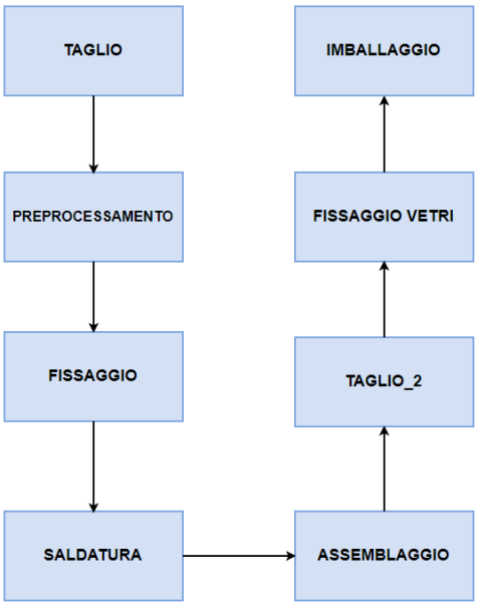


Figura 60: Flusso di processo attuale (CSM) dell'azienda ABC Limited

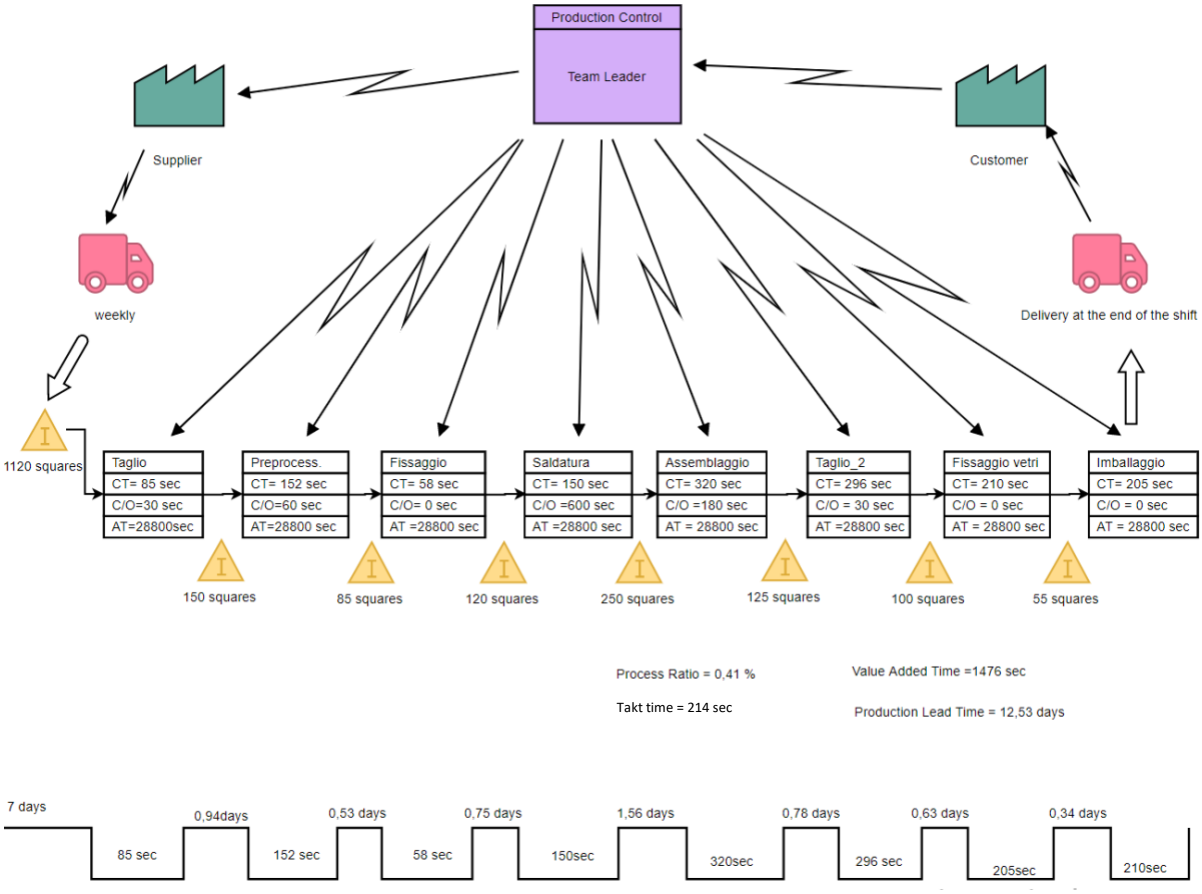


Figura 61: VSM dello stato attuale dell'azienda ABC Limited (CSM)

Dalla CSM è possibile estrapolare diversi dati che possono essere riassunti nella figura sottostante.

Valore aggiunto	1.476 secondi
Lead time	360,864 secondi
Process ratio	0,0041
N° turni	1
Durata turno	28800 secondi
Domanda giornaliera	135 pezzi
Takt time	8x60x60/135 = 214 sec/pezzi
Arrivo materiale	1 volta a settimana

	Tempo di processo	Tempi di Set-up	Magazzini
Taglio	85 sec	30 sec	1120
Preprocessamento	152 sec	60 sec	150
Fissaggio	58 sec	0 sec	85
Saldatura	150 sec	60 sec	120
Assemblaggio	320 sec	180 sec	250
Taglio_2	296 sec	30 sec	125
Fissaggio vetri	205 sec	0 sec	100
Imballaggio	210 sec	0 sec	55

Figura 62: Dati estrapolati dalla CSM dell'azienda ABC Limited

Dalla CSM, si evince che il Value Added Time è pari a 1476 secondi ed il Production Lead Time è di 12,53 giorni (360864 secondi). Attraverso questi dati si può calcolare il Process Ratio, il quale è calcolato come il rapporto tra Value Added Time e Production Lead time totale $\frac{VA}{LT} = \frac{\varepsilon CT\ processori}{\varepsilon CT\ tot}$. Questo valore, il cui risultato è 0,41%, indica l'efficienza del flow time all'interno della linea produttiva rappresentata dalla VSM, infatti questo rapporto indica il rapporto tra il tempo speso per effettuare un'operazione e il tempo che si viene speso per mantenere i pezzi in attesa di lavorazione.
Da questi dati estrapolati è possibile notare che le operazioni di fissaggio vetri, assemblaggio, taglio_2 e imballaggio hanno un tempo di processo superiore a quello del Takt time, per questa ragione vengono a si può ipotizzare che verranno a formarsi dei buffer intermedi e dei colli di bottiglia.

Inoltre, viene esplicitato anche che gli operatori che lavorano sulla linea sono di due tipi, il primo sono tecnici specializzati che lavorano ognuno su una macchina (12 totali) e gli altri causali sono lavoratori che aiutano questi tecnici (12 totali). Ogni macchina necessita di un numero fisso di operatori come è riportato nella figura 63.

	Tecnici	Casuali
Taglio	1	2
Preprocessamento	2	0
Fissaggio	1	1
Saldatura	2	1
Assemblaggio	3	2
Taglio 2	1	3
Fissaggio vetri	1	1
Imballaggio	1	2

Figura 63: Numero di operatori necessari per ogni stazione di lavoro nello stato attuale (CSM)

Simulazione ad eventi discreti CSM

Dopo aver analizzato la CSM si può andare a creare il modello di simulazione ad eventi discreti tramite l'utilizzo del software Flexsim. Per l'inserimento dei dati iniziali è necessario attribuire delle distribuzioni per quanto riguarda i tempi di processo e quelli di set up (per poter considerare la variabilità del sistema). Questi sono stati inseriti con una distribuzione di tipo esponenziale, in modo da rappresentare un sistema con una alta variabilità.

Per quanto riguarda i set-up, essi vengono eseguiti solamente all'inizio della produzione (1 volta a settimana, ovvero ogni 1120 pezzi) e comprendono il fissaggio dello strumento, la pulizia, il controllo che i materiali necessari siano pronti per la produzione.

I buffer sono stati impostati con una capienza massima pari a quella mostrata nella figura 63 nella colonna "Magazzini" per rappresentare nella maniera più precisa possibile la situazione mostrata nella CSM.

La source verrà settata con un arrivo in sequenza dato che il sistema è di tipo Push e deve seguire l'andamento della prima macchina a livello di tempi.

Inoltre, verrà creata anche una seconda simulazione identica alla prima nella quale viene inserita un'altra source la quale sarà collegata ad ogni magazzino in modo da simulare la massima capacità della linea con livelli di inventari massimi. Tutto ciò per verificare la possibilità di soddisfare la domanda attuale di 135 pezzi al giorno. La simulazione è stata effettuata su una tempistica pari a 864000 secondi, ovvero un mese.

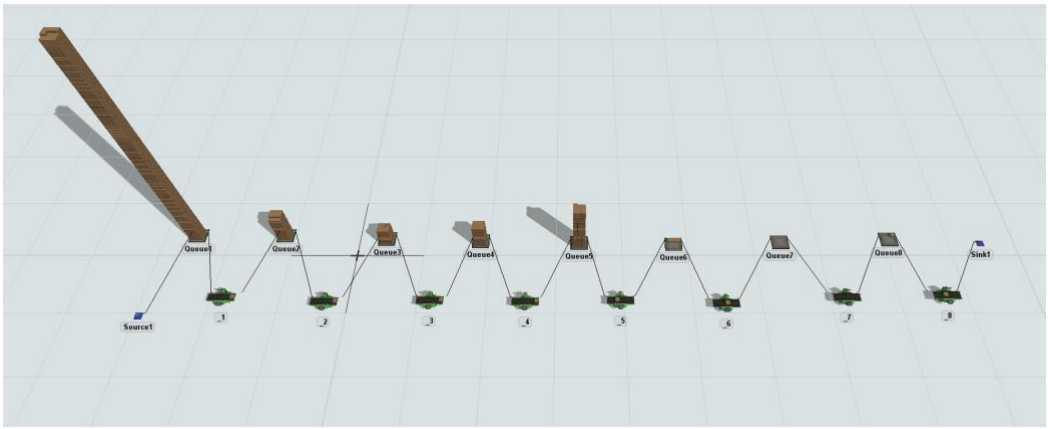


Figura 64: Visualizzazione grafica della simulazione dello stato attuale (CSM) della Linea produttiva ABC Limited

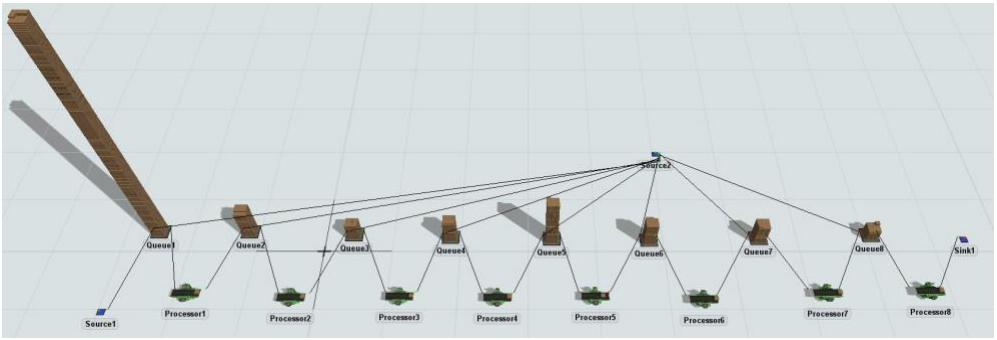


Figura 65: Visualizzazione grafica della simulazione dello stato attuale (CSM) della Linea produttiva ABC Limited con capacità produttiva massima

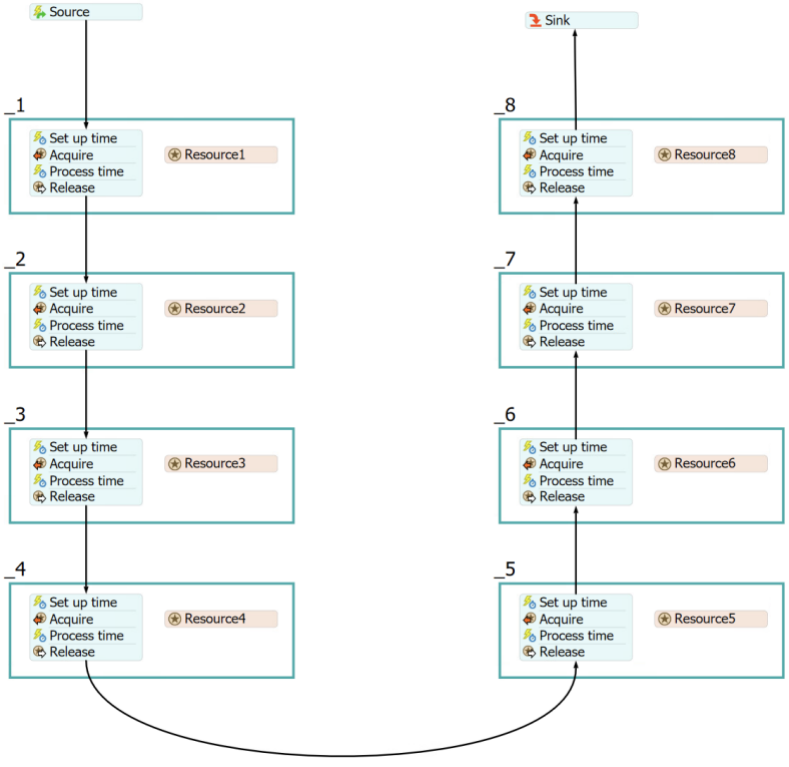


Figura 66: Process flow dello stato attuale (CSM) della linea produttiva dell'azienda ABC Limited

Risultati dashboard
La figura 67 mostra i risultati della simulazione attraverso il WIP (Average Content), i tempi ciclo (Staytime), attraverso il Throughput (Output/hour) e l'utilizzo (State).

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	1120.00
Queue2	146.86
Queue3	72.35
Queue4	107.52
Queue5	236.29
Queue6	7.57
Queue7	0.99
Queue8	0.99
_1	1.00
_2	1.00
_3	0.91
_4	1.00
_5	1.00
_6	0.90
_7	0.66
_8	0.64

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	261.54	0.27	2191.31
_2	274.01	0.09	2191.31
_3	262.92	0.20	2191.31
_4	291.20	0.03	2191.31
_5	320.27	0.01	2229.91
_6	286.43	0.05	2688.34
_7	208.33	0.06	1573.81
_8	211.85	0.05	1592.65
Queue1	236320.05	0.00	375413.95
Queue2	39267.13	0.00	56060.31
Queue3	20305.68	0.00	35152.34
Queue4	31154.33	0.00	46212.60
Queue5	73079.27	0.00	91306.22
Queue6	2371.53	0.00	9374.06
Queue7	394.88	0.00	4217.38
Queue8	393.23	0.00	3539.07

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	139.43

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.13

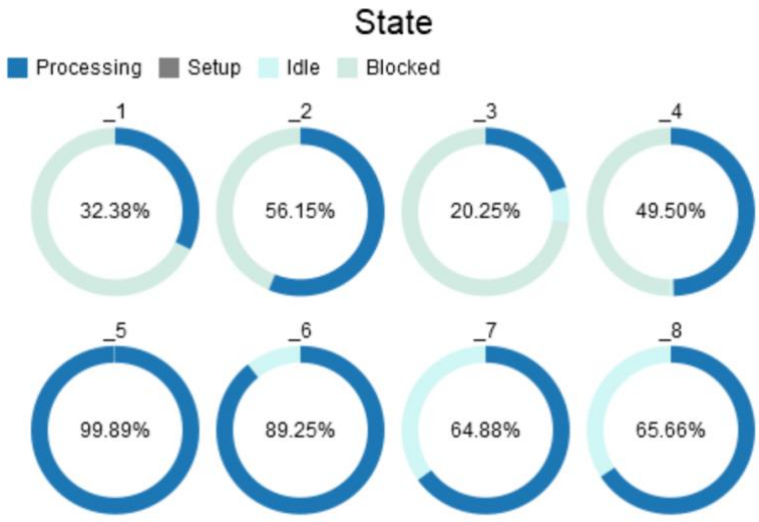


Figura 67: Risultati dashboard della simulazione dello stato attuale (CSM) dell'azienda ABC Limited

A causa della variabilità del sistema e dei tempi di set-up, che nella simulazione vengono considerati mentre nella VSM sono solo trascritti senza avere implicazioni, non è possibile ritrovare esattamente i medesimi valori per quanto riguarda i tempi medi di processo. Analizzando il sistema si può riscontrare che la macchina 5 (Assemblaggio) è un collo di bottiglia (utilizzo del 99%) e che quindi non è in grado di reggere questi ritmi produttivi. Di conseguenza si forma una coda prima di questa macchina e i pezzi che escono non sono sufficienti per mantenere lo standard produttivo richiesto. Per ovviare a questo problema si potrebbe inserire un ulteriore macchina 5 in parallelo. Nonostante ciò, però è possibile calcolare

dai dati di output del sistema il Value Added Time (sommatoria degli staytime di processo) e il Production Lead Time (sommatoria di tutti gli staytime delle code) con i quali si ricava il Process ratio:

- Value added Time = 2101,61 secondi
- Production lead time= 13,74982 giorni = 13,8 giorni
- Process ratio = 0,005 = 0,5%

Future state Map

Una volta analizzato il modello di simulazione è necessario andare ad analizzare il target da raggiungere per soddisfare la domanda futura.
È stata stimata una domanda pari a 240 pezzi giornalieri. Sulla base di questo è possibile riscontrare che lo stabilimento produttivo attualmente non è in grado di soddisfare questa domanda dato che il nuovo Takt time calcolato è pari a 120sec/pezzo (8x60x60 / 240 = 120). Guardando la CSM solo la prima stazione di lavoro è in grado di reggere questi ritmi produttivi e perciò sono necessarie delle migliorie da applicare alla linea produttiva.

- Per realizzare e raggiungere l'obiettivo prefissato sono state implementate sulla linea le seguenti tecniche:
- Utilizzo delle 5s per ottimizzare le work station;
- Implementazione sistema Kaizens di miglioramento continuo;
- Bilanciamento delle linee per raggiungere una uniformità di flusso;
- Modifica del layout per ridurre il movimento di materiale e trasporti non necessari;
- Inserimento di un supermarket in diversi luoghi della linea produttiva per ridurre il numero degli inventari.

Una volta applicate queste tecniche la nuova linea si presenta come nella figura seguente.

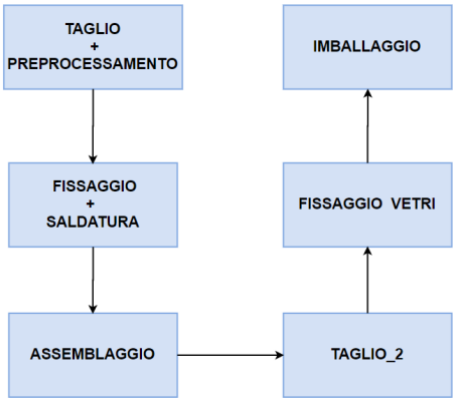


Figura 68: Flusso di processo futuro (FSM) dell'azienda ABC Limited

Essendo a conoscenza della nuova configurazione della linea, è possibile disegnare la Future state Mapping seguente.

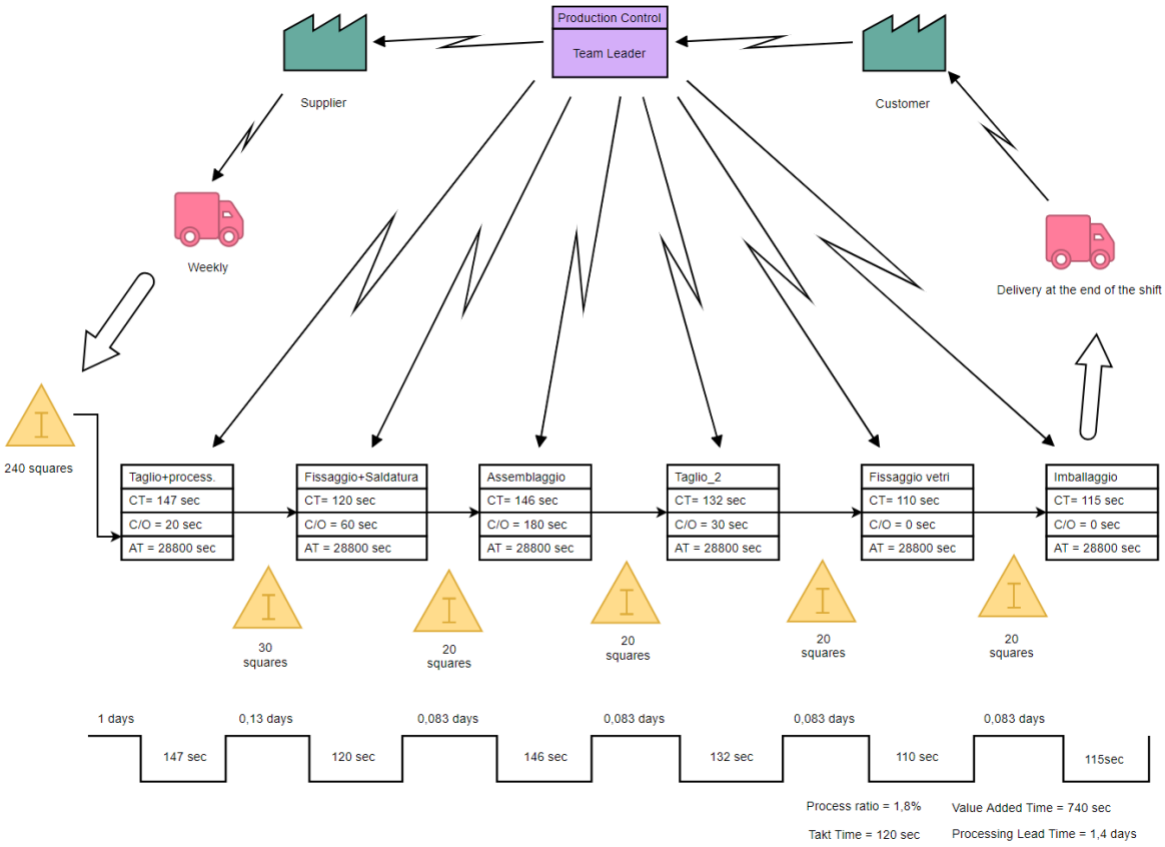


Figura 69: VSM dello stato futuro dell'azienda ABC Limited (FMS)

Come è possibile osservare, con queste migliorie il totale può essere diminuito a soli 1,45 giorni di inventario e, grazie alla riduzione dei tempi di processo sulle varie macchine, il nuovo rapporto di processo passa da 0,0041 a 0,018.
Per il bilanciamento della linea si può notare come le operazioni siano state conformate alle esigenze della domanda futura. L'obiettivo idealmente è quello di allineare i tempi di processo a quelli del nuovo Takt time. Per fare ciò sono state unite più parti della produzione come la macchina Taglio_2, inizialmente erano necessari 3 tecnici e due causali, adesso è stato calcolato che sono necessari solamente 2 tecnici e due casuali per far lavorare quella macchina. Così facendo è possibile eliminare dei buffer intermedi. Lo stesso ragionamento è stato fatto per la combinazione tra assemblaggio e saldatura arrivando ad avere 1 tecnico e due occasionali grazie a delle soluzioni adottate.
I miglioramenti tecnologici effettuati hanno invece aiutato ad ottimizzare i tempi di processo delle stazioni di lavoro migliorando quindi l'efficienza della linea. Questi miglioramenti sono i seguenti:

- Uso di un doppio bloccante per la macchina di taglio, questo permette di inserire due pezzi al posto che uno sulla macchina ed eseguire il taglio in simultanea su entrambi i pezzi.
- Miglioramento area imballaggio attraverso l'implementazione di una tavola rotante per imballare il prodotto finito, precedentemente l'operatore doveva chinarsi, in questo modo viene accelerato il processo e viene diminuita la fatica dell'operatore.

Nella figura seguente vengono rappresentati i fabbisogni di operatori per il nuovo processo.

	Tecnici	Casuali
Taglio	1	1
Preprocessamento	1	0
Fissaggio	0	1
Saldatura	1	1
Assemblaggio	2	2
Taglio_2	1	2
Fissaggio vetri	1	1
Imballaggio	0	2

Figura 70: Nuovo numero di operatori necessari per ogni stazione di lavoro nello stato futuro (FSM)

Simulazione ad eventi discreti FSM

Dalla FSM è possibile estrapolare i nuovi dati di input per il nuovo modello di simulazione ad eventi discreti.

N° turni	1
Durata turno	28800 secondi
Domanda giornaliera	240 pezzi
Takt time	8x60x60/240 = 120 sec/pezzi
Arrivo materiale	1 volta a settimana

	Tempo di processo	Tempi di Set-up	Magazzini
Taglio + Preprocessamento	147 sec	20 sec	240 pezzi
Fissaggio + Saldatura	120 sec	60 sec	30 pezzi
Assemblaggio	146 sec	180 sec	20 pezzi
Taglio_2	132 sec	30 sec	20 pezzi
Fissaggio vetri	110 sec	0 sec	20 pezzi
Imballaggio	115 sec	0 sec	20 pezzi

Figura 71: Dati estrapolati dalla FSM dell'azienda ABC Limited

Quindi, dopo aver creato la FSM si può creare la rispettiva simulazione come fatto in precedenza sulla CSM. Anche in questo caso i tempi di processo e quelli di set up seguiranno un andamento esponenziale, e questi ultimi verranno effettuati solo ad inizio produzione (1 volta a settimana, perciò ogni 1680 pezzi). La source anche in questa situazione verrà impostata con un arrivo in sequenza per poter seguire il ritmo della prima stazione e i buffer intermedi sono stati limitati con i nuovi valori presi dalla FSM.

Inoltre, è stato creato un ulteriore modello di supporto, come per la CSM, nella quale è presente una nuova source in modo da simulare la situazione di massima capacità della linea con i livelli di stock negli inventari al massimo.
La possibilità di lavorare due pezzi contemporaneamente sulla macchina Taglio_2 è stata rappresentata con un inserimento di una macchina uguale la quale lavora in parallelo con essa.

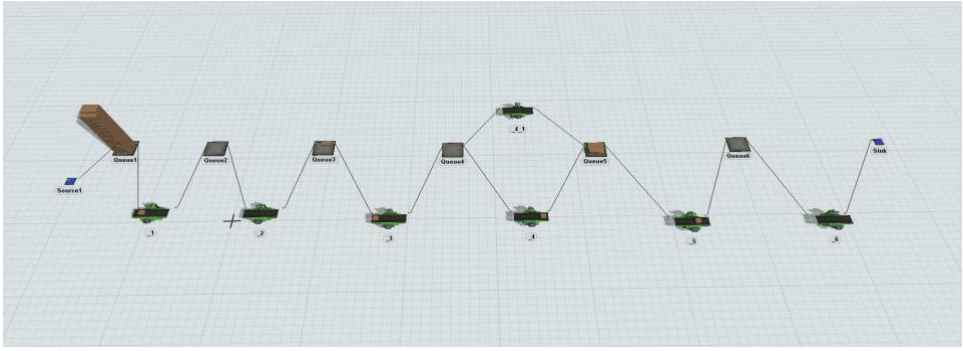


Figura 72:Visualizzazione grafica della simulazione dello stato futuro (FSM) della linea produttiva della ABC Limited

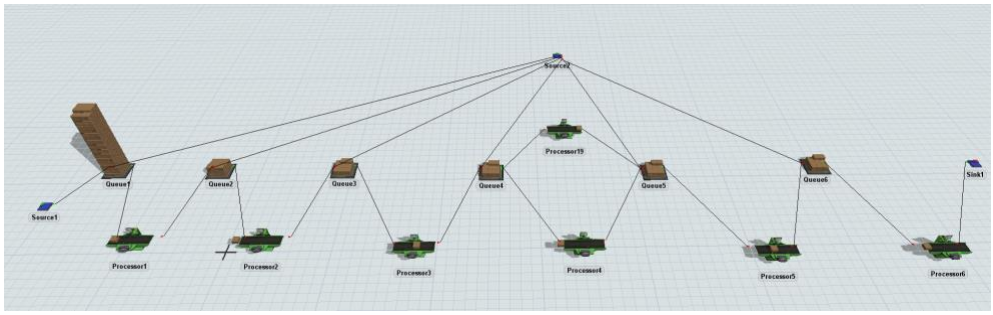


Figura 73: Visualizzazione grafica della simulazione dello stato futuro (FSM) della linea produttiva della ABC Limited con capacità produttiva massima

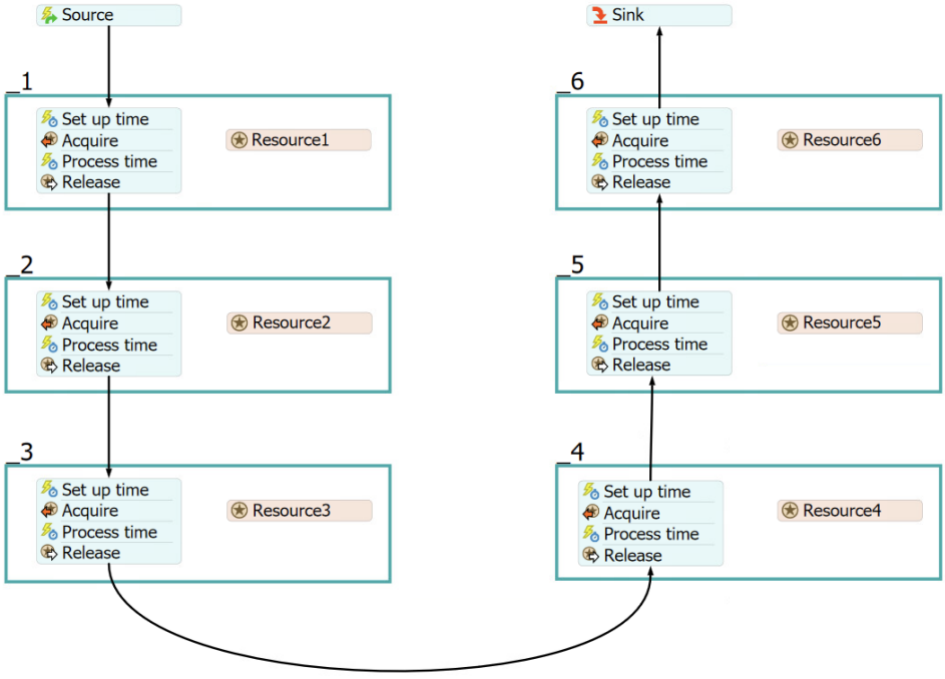


Figura 74: Process flow dello stato futuro (FSM) della linea produttiva dell'azienda ABC Limited

Risultati Dashboard
La figura 75 mostra i risultati della simulazione esattamente nella stessa modalità dei risultati della CSM precedente.

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	35516.21	0.00	42395.88
Queue2	1931.75	0.00	6858.47
Queue3	2114.37	0.00	5245.99
Queue4	28.62	0.00	758.06
Queue5	320.88	0.00	3256.80
Queue6	336.04	0.00	3018.54
_1	151.12	0.02	1405.23
_2	138.84	0.06	1610.00
_3	148.40	0.01	1385.47
_4	129.67	0.01	1198.86
_5	110.31	0.04	1173.91
_6	114.46	0.01	1019.22
_4_1	130.33	0.03	910.11

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	240.00
Queue2	12.78
Queue3	13.97
Queue4	0.19
Queue5	2.12
Queue6	2.22
_1	1.00
_2	0.92
_3	0.98
_4	0.52
_5	0.73
_6	0.76
_4_1	0.34

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	255.77

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	190.07

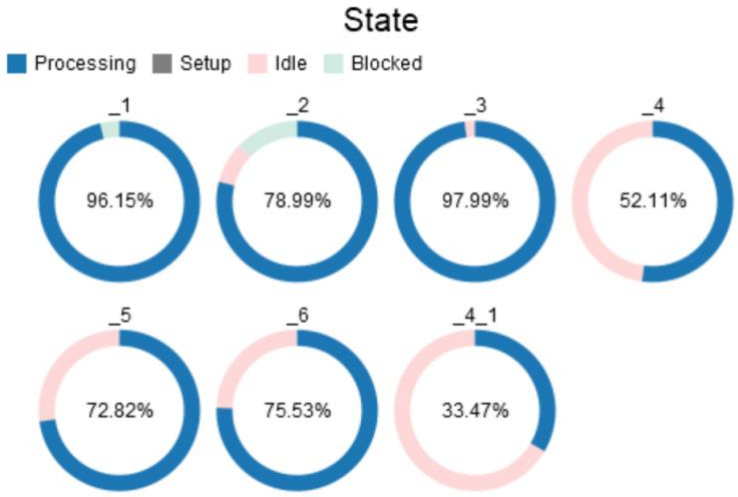


Figura 75: Risultati dashboard della simulazione dello stato futuro (FSM) dell'azienda ABC Limited

È possibile riscontrare dalla dashboard del sistema che anche nel modello di simulazione la domanda futura viene soddisfatta, con circa un output giornaliero della linea pari a 255 pezzi.

Per quanti riguarda i tempi ciclo ritrovati nell'omonima tabella è necessario fare le stesse considerazioni fatte per gli output della CSM. Infatti, nella simulazione 3D vengono tenuti in considerazione oltre ai tempi di processo anche i tempi di set-up e perciò i valori non combaciano perfettamente con quelli della FSM. Nonostante ciò, si possono ricavare il Value Added Time, il Production Lead Time e di conseguenza anche il Process ratio:

- Value Added Time = 796,67 secondi
- Production lead Time = 1,398593 giorni = 1,4 giorni
- Process Ratio = 0,019 = 1,9%

I dati non si discostano molto dalla FSM, queste piccole differenze a livello numerico sono date dalla presenza della variabilità della linea la quale non è considerata nella VSM.

In conclusione, grazie a questi miglioramenti il livello degli inventari è stato ridotto del 76% in media, ed è stata aumentata la produttività di circa 28,5%. Inoltre, vi è anche un risparmio economico derivato dal numero di operatori necessari per le operazioni sulla linea, passando da 24 operatori totali a 17. [5]

Nuovi scenari di simulazione
È possibile analizzare questa linea produttiva cambiando le distribuzioni inserite nella simulazione ad eventi discreti, sia per quanto riguarda i tempi di arrivo e sia per quanto riguarda i tempi di processo. In seguito, sono stati analizzati 16 scenari per quanto riguarda la CSM e 16 scenari per la FSM. Sono state combinati 4 tempi di inter-arrivo differenti nella sorgente con 4 tempi di processo differenti sui processori.

- Sorgente costante = tempo senza distribuzione pari al CT della prima macchina.
- Sorgente esponenziale = distribuzione esponenziale con media pari al CT della prima macchina.
- Sorgente normale = distribuzione lognormale con media pari al CT della prima macchina e deviazione standard circa del 10%.
- Sorgente push = Arrive in sequence.

I valori inseriti nei tempi di processo nelle macchine sono:
- WS costante= tempo senza alcuna distribuzione.
- WS esponenziale = stessi tempi utilizzati nelle simulazioni CSM e FSM.
- WS normale = distribuzione lognormale con media uguale a quella esponenziale e deviazione standard del 10% circa.
- WS normale 2 = distribuzione lognormale con media uguale a quella esponenziale e deviazione standard con rapporto 1,5:1 rispetto alla media. (Scenario con variabilità massima)

Le combinazioni che formano i diversi scenari sono riportate nella Figura 76.

	Sorgente Costante	**Sorgente esponenziale**	**Sorgente Normale**	**Sorgente in sequenza**
WS costante	Scenario 1	Scenario 5	Scenario 9	Scenario 13
WS esponenziale	Scenario 2	Scenario 6	Scenario 10	Scenario 12
WS normale	Scenario 3	Scenario 7	Scenario 11	Scenario 14
WS normale 2	Scenario 4	Scenario 8	Scenario 12	Scenario 16

Figura 76: Combinazioni utilizzate per la rappresentazione degli scenari

CSM

SCENARIO 1: WS COSTANTE SORGENTE COSTANTE				
VA	1797,39		**TH**	89,83
CTq	89717,45			
CT tot	91514,84			

SCENARIO 2: WS ESPONENZIALE SORGENTE COSTANTE				
VA	1699,64		**TH**	88,97
CTq	95905,27			
CT tot	97604,91			

SCENARIO 3: WS NORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	1700,66		**TH**	89,97
CTq	88758,35			
CT tot	90459,01			

SCENARIO 4: WS LOGNORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	1843,16		**TH**	85,13
CTq	120581,98			
CT tot	122425,14			

SCENARIO 5: WS COSTANTE SORGENTE EXP				
VA	1811,21		**TH**	89,63
CTq	90860,45			
CT tot	92671,66			

SCENARIO 6: WS EXP SORGENTE EXP				
VA	1717,72		**TH**	88,77
CTq	97896,59			
CT tot	99614,31			

SCENARIO 7: WS NORM SORGENTE EXP				
VA	1717,26		**TH**	89,77
CTq	89903,4			
CT tot	91620,66			

SCENARIO 8: WS LOGNORMALE SORGENTE EXP				
VA	1855,09		**TH**	84,87
CTq	122516,8			
CT tot	124371,9			

SCENARIO 9: WS COSTANTE SORGENTE NORM				
VA	1801,16		**TH**	89,83
CTq	90565,73			
CT tot	92366,89			

SCENARIO 10: WS EXP SORGENTE NORM				
VA	1701,95		**TH**	89
CTq	96616,88			
CT tot	98318,83			

SCENARIO 11: WS NORM SORGENTE NORM				
VA	1705,17		**TH**	89,63
CTq	90860,45			
CT tot	92565,62			

SCENARIO 12: WS LOGNORMALE SORGENTE NORM				
VA	1847,8		**TH**	85,17
CTq	121207,9			
CT tot	123055,7			

SCENARIO 14: WS EXP SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	2126,33		**TH**	89,27
CTq	399883,06			
CT tot	402009,39			

SCENARIO 15: WS NORM SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	2116,75		**TH**	90
CTq	394341,66			
CT tot	396458,41			

SCENARIO 16: WS LOGNORMALE SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	2207,57		**TH**	85,27
CTq	420228,2			
CT tot	422435,8			

Figura 77: Output scenari simulati con Experimenter dello stato attuale (CSM)

Da queste simulazioni è possibile notare che i tempi di ciclo, sia in coda che di processo, e i Throughput non sono influenzati dalle diverse distribuzioni applicate. Infatti, nel momento in cui viene modificato il tipo di sorgente (escludendo l'arrivo in sequenza a causa del riempimento massimo delle code e degli staytime che ne derivano), i tempi ciclo non cambiano notevolmente tra di loro, e nemmeno cambiando i tempi delle WS vi sono grandi differenze. Da questo si può intuire che il collo di bottiglia nella stazione _5 è ciò che limita la capacità di

questo sistema e perciò per aumentarne le performance è necessario apportare delle modifiche tecnologiche sulla linea.

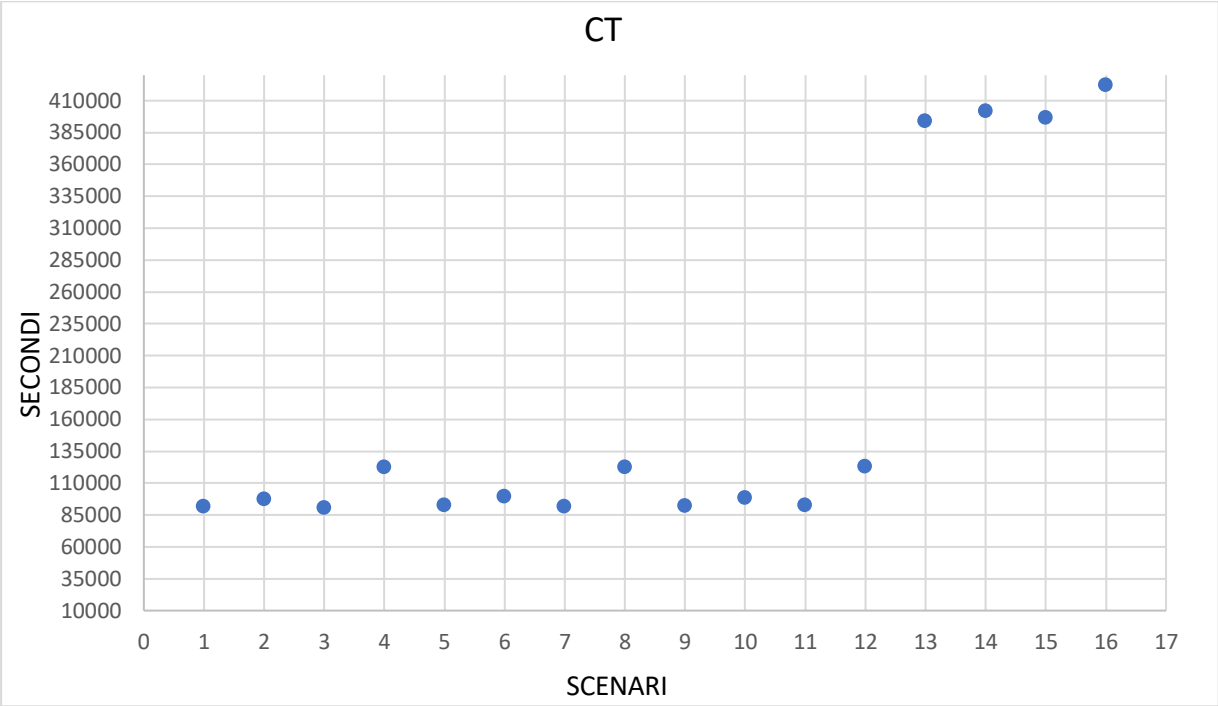


Figura 78: Tempi ciclo totali degli scenari dello stato attuale (CSM) in un mese

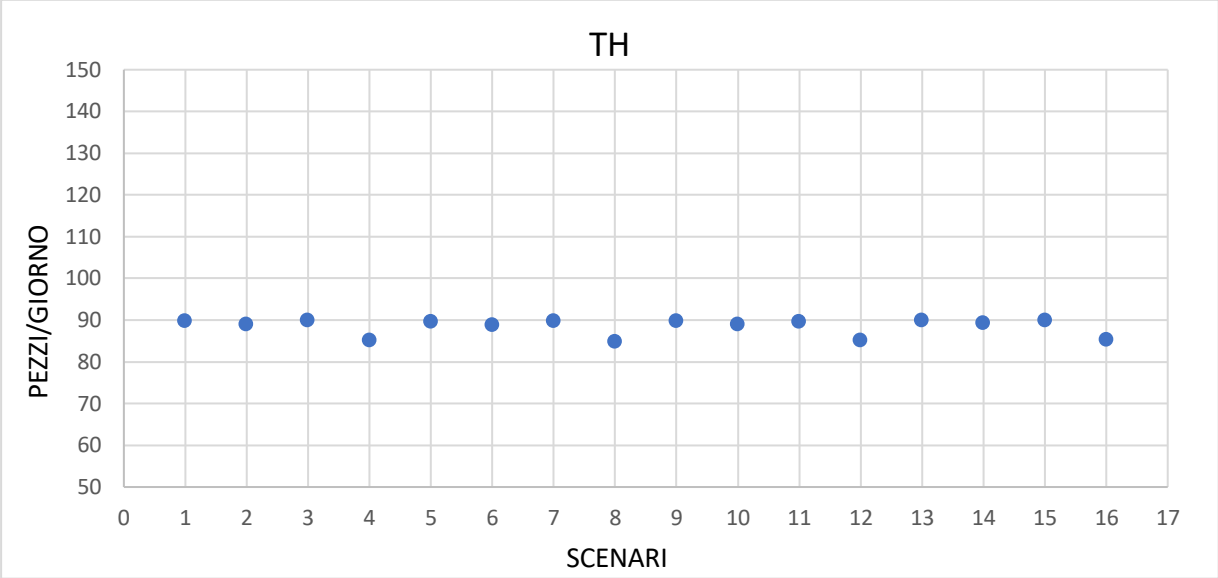


Figura 79: Output medio degli scenari dello stato attuale (CSM) in un mese

Inoltre, è stata effettata anche una simulazione che riguarda l'aumento delle capacità dei vari buffer sulla simulazione della linea con massima capacità. Questa è stata effettuata per comprendere se vi sono altri fattori di variabilità che influiscono sull'output del sistema. I valori sono riportati nella figura riassuntiva sottostante, la quale mostra che la capacità produttiva del sistema non aumenta aumentando la capacità dei buffer.

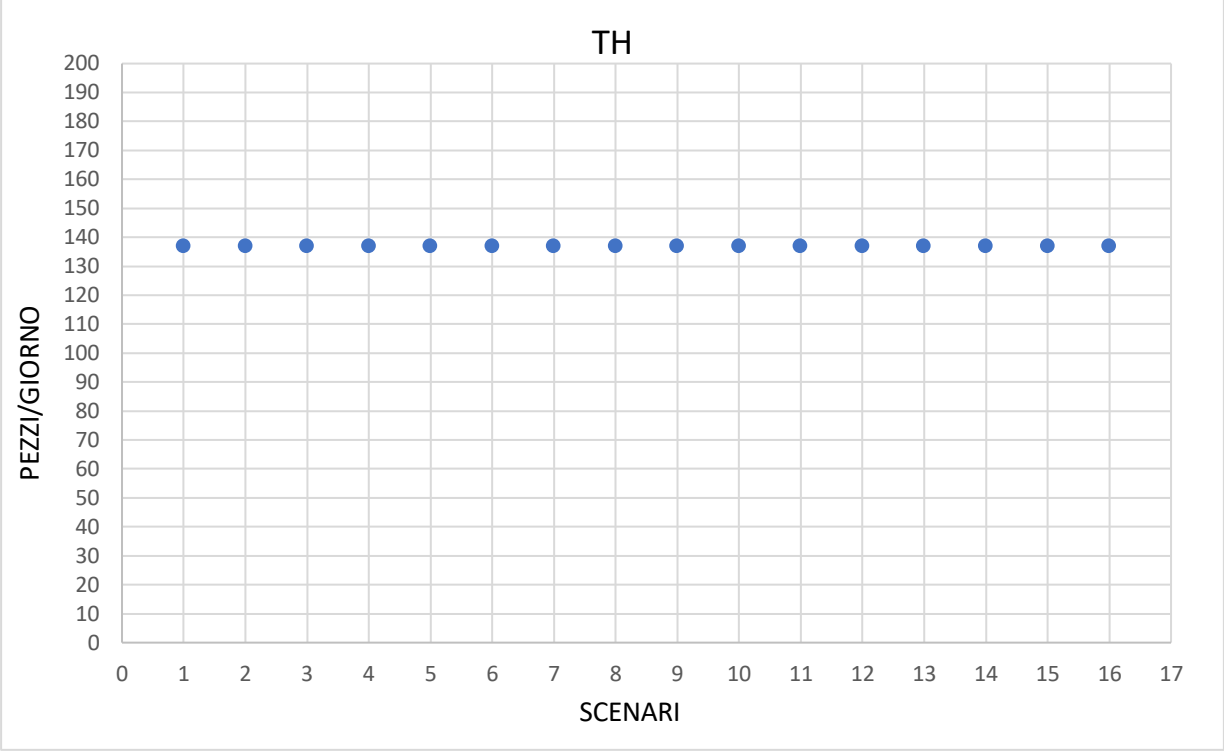


Figura 80: Output medio dello stato attuale (CSM) in un mese per scenari con massima capacità produttiva

Per questa ragione, infatti, quella che hanno effettuato gli ingegneri implementando nuove tecnologie all'interno della linea, risulta essere l'unica soluzione possibile da percorrere dato che attraverso la variabilità del sistema non è possibile migliorarne le performance.

FSM

SCENARIO 1: WS COSTANTE SORGENTE COSTANTE				
VA	770,07	902,07	**TH**	194,43
CTq	1,7			
CT tot	771,77			

SCENARIO 2: WS ESPONENZIALE SORGENTE COSTANTE				
VA	784,78	913,39	**TH**	191,13
CTq	7680,8			
CT tot	8465,58			

SCENARIO 3: WS NORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	769,48	901,58	**TH**	194,4
CTq	165,41			
CT tot	934,89			
SCENARIO 4: WS LOGNORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	831,39	970,24	**TH**	177,3
CTq	31167,11			
CT tot	31998,5			

SCENARIO 5: COSTANTE SORGENTE EXP				
VA	770,07	902,07	**TH**	193,67
CTq	6513,2			
CT tot	7283,27			

SCENARIO 6: EXP SORGENTE EXP				
VA	782,24	910,24	**TH**	190,5
CTq	12488,51			
CT tot	13270,75			

SCENARIO 7: NORM SORGENTE EXP				
VA	769,48	901,66	**TH**	194,23
CTq	5716,38			
CT tot	6485,86			

SCENARIO 8: WS LOGNORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	831,15	970,07	**TH**	176,53
CTq	30355,18			
CT tot	31186,33			

SCENARIO 9: WS COSTANTE SORGENTE NORM				
VA	770,07	902,07	**TH**	194,43
CTq	116,04			
CT tot	886,11			

SCENARIO 10: WS EXP SORGENTE NORM				
VA	785,05	913,71	**TH**	191,13
CTq	8038,23			
CT tot	8823,28			

SCENARIO 11: NORM SORGENTE NORM				
VA	783,51	901,64	**TH**	194,43
CTq	222,43			
CT tot	1005,94			

SCENARIO 12: WS LOGNORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	832,36	971,78	**TH**	177,23
CTq	31518,54			
CT tot	32350,9			

SCENARIO 13: WS COSTANTE SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	770,07	902,07	**TH**	195,77
CTq	34559,72			
CT tot	35329,79			

SCENARIO 14: WS EXP SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	785,36	914,03	**TH**	191,27
CTq	39172,32			
CT tot	39957,68			

SCENARIO 15: WS NORM SORGENTE IN SEQUENCE				
VA	769,49	901,7	**TH**	196,6
CTq	34657,79			
CT tot	35427,28			

SCENARIO 16: WS LOGNORMALE SORGENTE COSTANTE				
VA	831,67	970,38	**TH**	177,6
CTq	42531,55			
CT tot	43363,22			

Figura 81: Output scenari simulati con Experimenter dello stato futuro (FSM)

Negli scenari della FSM si può notare come la variabilità della sorgente e delle macchine abbia maggiore un impatto rispetto alla simulazione della CSM. La variabilità del sistema influisce in gran parte sui tempi ciclo della linea. Infatti, i tempi ciclo totali della linea possono discostarsi molto tra di loro come vediamo nella figura sottostante. La situazione di maggiore variabilità (senza considerare l'arrive in sequence) è quella dello Scenario12 mentre quella con variabilità minima è quella ovviamente dello Scenario 1, con uno scarto tra di loro di circa 30000 secondi, circa una giornata lavorativa. Pertanto, è possibile lavorare per migliorare la variabilità del sistema cercando di diminuirla ulteriormente per diminuire i tempi di attesa dei pezzi in coda. Inoltre, anche sulla rapidità di lavorazione la variabilità ha un impatto considerevole, infatti i pezzi prodotti possono variare tra i 196 pezzi giornalieri e i 177 pezzi giornalieri. A causa della presenza di colli di bottiglia nella Stazione_1 e nella Stazione 3 l'impatto della variabilità è presente ma comunque limitato. Infatti, per migliorare l'output di questa linea, sarebbe necessario eliminare i due colli di bottiglia e poi dopo agire sulla variabilità, la quale successivamente avrebbe un grande impatto.

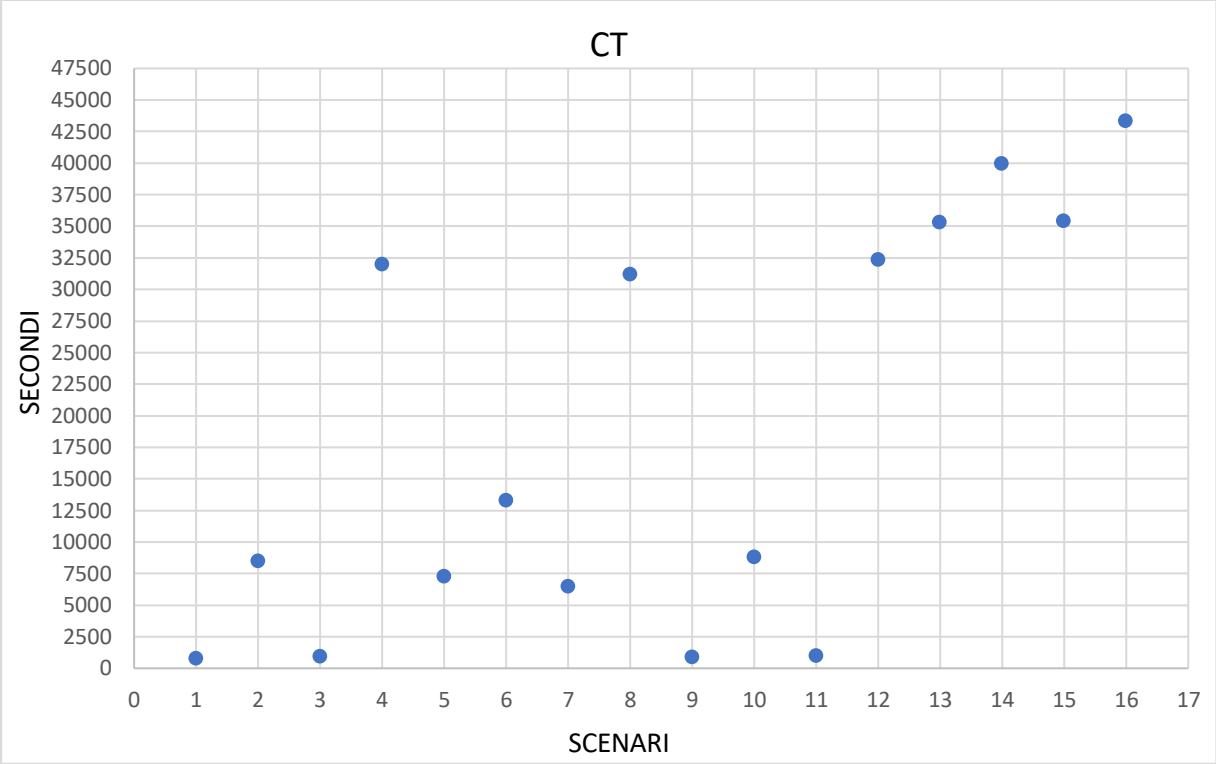


Figura 82: Tempi ciclo totali degli scenari dello stato futuro (FSM) in un mese

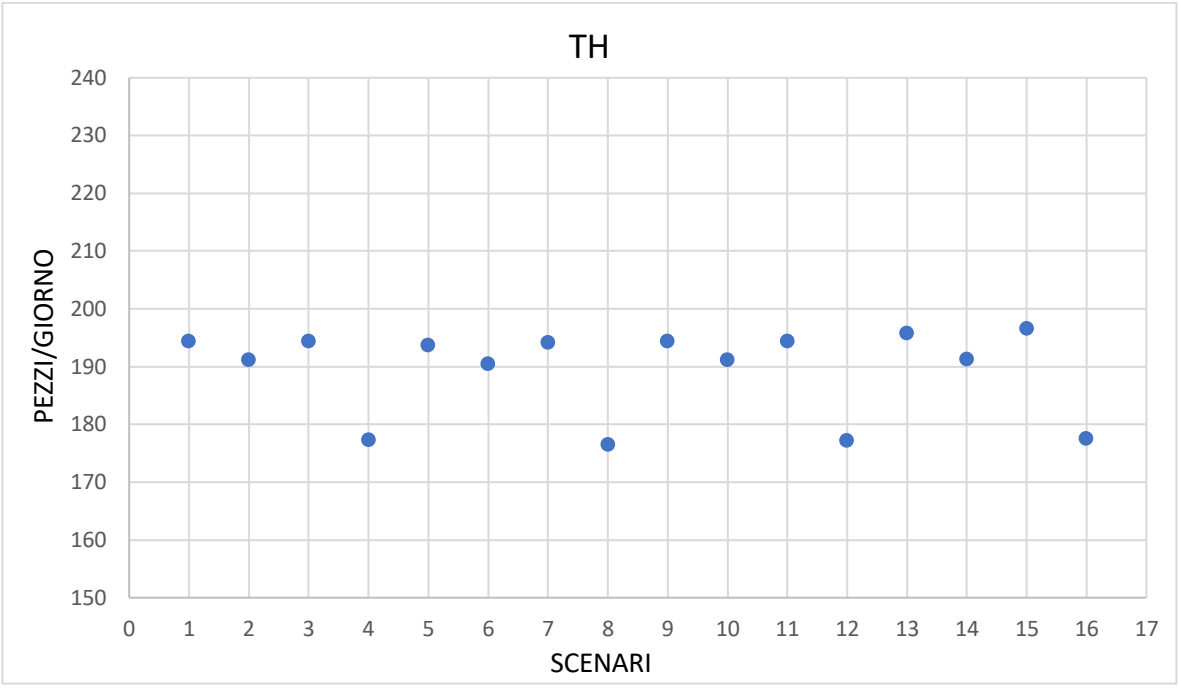


Figura 83: Output medio degli scenari dello stato attuale (CSM) in un mese

Per quanto riguarda la linea con la massima capacità produttiva, è stata effettuata una simulazione per considerare l'influenza della capacità massima dei buffer sulla linea. La loro capacità è stata aumentata negli scenari, ma come risulta dal grafico sottostante non vi è alcuna influenza sulla capacità produttiva del sistema.

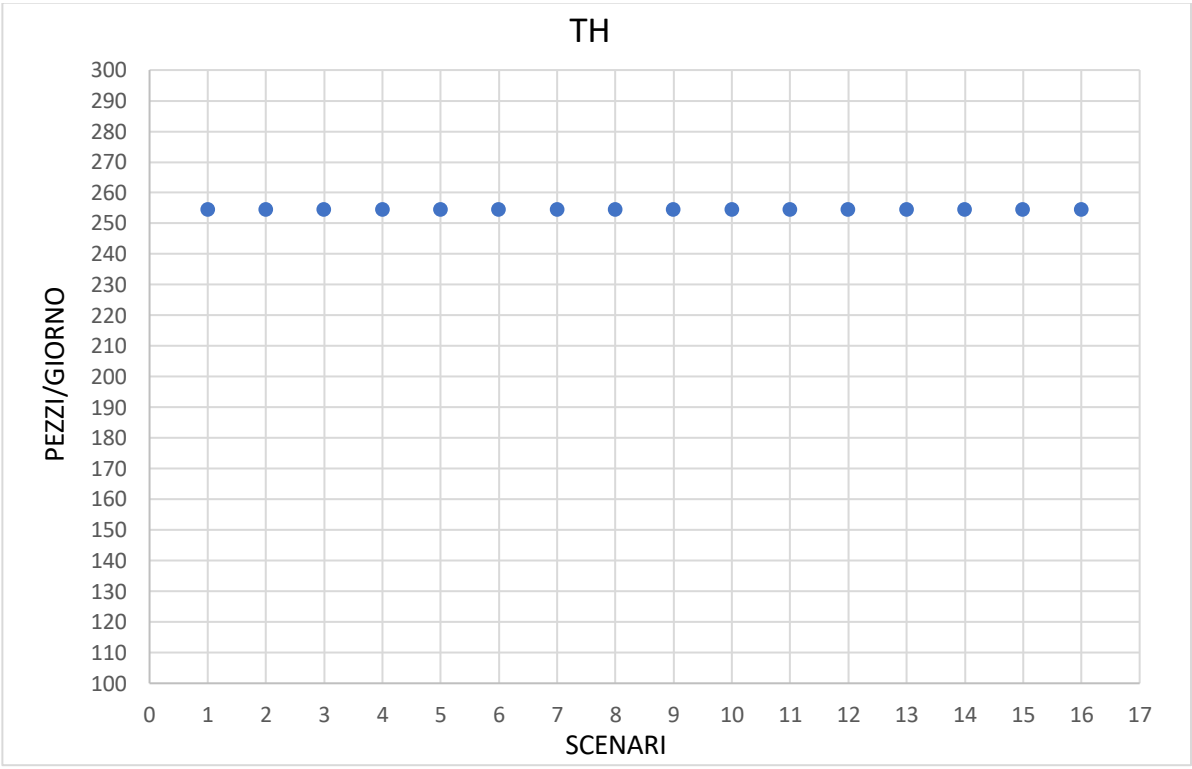


Figura 84: Output medio dello stato attuale (CSM) in un mese per scenari con massima capacità produttiva

Conclusioni

In conclusione, possiamo affermare che, dopo aver effettuato la simulazione di molteplici scenari attraverso l'Experimenter di Flexsim, lo stato attuale della linea non può essere migliorato attraverso una diminuzione della variabilità. Questo è dovuto al collo di bottiglia della macchina 5, la quale influenza e gestisce le prestazioni dell'output del Sistema. Infatti, la soluzione attuata per cercare di soddisfare la domanda futura di 240 pezzi al giorno è stata quella di effettuare dei miglioramenti tecnologici sulla linea, diminuendo i tempi di processo di ogni macchina, accorpando le prima quattro machine due nuovi processori e rendendo maggiormente bilanciata la linea. L'utilizzo della simulazione in questo caso è stato di aiuto per comprendere se fosse necessario realmente un intervento tecnologico per un miglioramento della linea o se fosse semplicemente necessario diminuire la variabilità del sistema rendendo maggiormente precise le machine e i tempi di consegna del materiale. Il risultato, come detto in precedenza, è stato quello di dover agire a livello tecnologico sulla linea.

Per quanto riguarda la linea futura, essa rispetterà la domanda richiesta grazie alle migliorie implementate ed inoltre, grazie alle simulazioni effettuate è possibile sapere che implementando dei miglioramenti per ridurre l'incertezza della linea (la sua variabilità) sarà possibile aumentarne le performance in caso di un ulteriore aumento della domanda futura.

CONCLUSIONE: VSM E DES A CONFRONTO

In quest'ultimo capitolo vengono messi a confronto i due strumenti considerati all'interno di questa tesi, ossia la Value Stream Mapping e la Simulazione ad Eventi Discreti. In seguito vengono introdotti i pregi e i difetti di entrambi gli strumenti.
[14]

Vantaggi e svantaggi della Value Stream Mapping

I vantaggi dell'utilizzo della Value Stream Mapping sono molteplici:

- Il management aziendale può essere maggiormente coinvolto riuscendo così a comprendere maggiormente i processi e i flussi di valore aziendali.
- Viene posto il focus sul continuo miglioramento organizzativo.
- Presentazione semplice e visiva basata su schema grafico.
- Facilità di esecuzione.
- Crea una comprensione comune di ciò che è o come dovrebbe essere.
- Identificazione delle cause degli sprechi.
- Risalta i punti necessari per un cambiamento focalizzato sull' l'ottimizzazione dei processi.
- Mostra le priorità di azioni e comportamenti.
- Crea uno snapshot del shop floor aziendale facilmente intuibile e comprensibile.

Svantaggi della VSM sono:

- Non è in grado di definire un sistema dinamico in quanto è una fotografia di una linea produttiva poiché è uno strumento di natura statica.
- Non tiene conto della variabilità del sistema.
- Non permette di visualizzare tutte le informazioni del shop floor.
- Permette di analizzare una sola famiglia di prodotti e non può gestire flussi complessi.
- L'impostazione reale di molte aziende è di tipo "alta varietà - basso volume" che implica centinaia di parti industriali e prodotti per un flusso di valore, impossibile da descrivere con la sola VSM.
- la mappatura di più prodotti che hanno flussi di materiali differenti è un problema che la VSM non riesce a gestire.
- La FSM viene creata ponendo come vero il concetto che tutti i problemi precedenti siano stati risolti.

- VSM si crea seguendo fisicamente flusso e registrando ciò che accade sul shop floor. Per questa ragione, il livello di dettaglio e il numero di diverse versioni che possono essere gestite è molto limitato.

Vantaggi e svantaggi della simulazione

I vantaggi della simulazione ad eventi discreti possono essere riassunti in questo modo:

- Possibilità di studio e sperimentazione di un sistema vario e complesso.
- Permette lo studio di verifica di fattibilità di qualsiasi ipotesi relativa a fenomeni particolari e specifici. Consente la verifica di fattibilità di qualsiasi ipotesi su come o perché si verificano determinati fenomeni.
- È uno strumento incredibilmente flessibile sotto ogni punto di vista.
- Permette di valutare diversi aspetti e scenari cambiando input e osservando output risultanti. Ciò produce informazioni importanti su quali variabili siano da considerare maggiormente.
- Nuovi progetti hardware, layout fisici, trasporto sistemi e possono essere testati senza utilizzare risorse per la loro acquisizione.
- La simulazione supporta la formulazione e la validazione di soluzione di tipo analitico.

Gli svantaggi di questo strumenti sono poco numerosi:

- È necessaria una formazione specifica per gli operatori che dovranno sviluppare i modelli.
- I risultati posso essere ambigui a causa dell'alta variabilità dei sistemi e si può cadere in errore facilmente se il modello non è stato sviluppato correttamente.
- La modellazione e l'analisi possono essere molto dispendiosi a livello di tempo ed a livello economico. [11]

In conclusione, la VSM è risultata quindi molto importante nella concettualizzazione delle simulazioni ad eventi discreti, infatti, come è stato analizzato nei casi studio precedentemente citati, senza di essa risulta difficile estrapolare i dati di input per la realizzazione del modello.
Il grande punto di forza della Value Stream Mapping è la comprensione dei flussi e delle loro rispettive convergenze, rendendo il sistema più facile da comprendere.
Ci sono tuttavia alcuni inconvenienti nell'affidarsi esclusivamente ad una VSM, poiché i numeri contenuti al suo interno non sono sufficienti per eseguire in maniera completa una DES. I tempi per i processi di produzione sono tempi fissi che vengono misurati con stime o con estrapolazione di raccolte di dati, e perciò non vengono riportate le distribuzioni che rappresentano i tempi di processo necessari per lo sviluppo della simulazione. Non è possibile, perciò, affidarsi solamente alla VSM per la raccolta dei dati di input per una simulazione e questo può creare un grande limite durante uno studio di una linea o durante una sua implementazione. Per ovviare a questo problema della ricerca delle distribuzioni dei tempi di

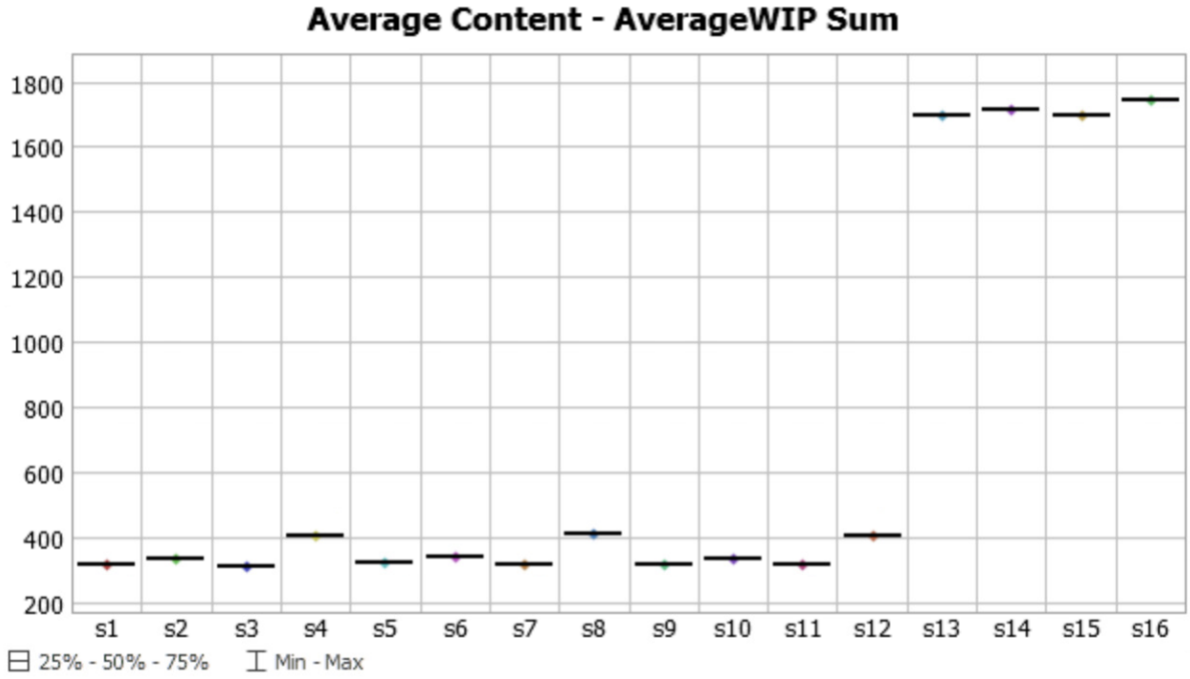
processo si può pensare di utilizzare un Manufacturing Execution System (MES), infatti questo funziona da collegamento tra le attività di pianificazione e quelle di produzione. Il MES è in grado di raccogliere informazioni riguardanti varie tipologie di tempi sulle macchine (come i tempi di set up, i tempi di processo, i tempi di fermi pianificati e non pianificati); una volta raccolte queste informazioni possono essere analizzate dal software di simulazione per eseguire un'analisi dei dati in modo da definire la distribuzione che meglio approssima quella specifica serie di dati. In questo modo si possono perciò ottenere i corretti dati di input per un modello DES.
L'utilità principale di una VSM è pressoché un'utilità iniziale per ottenere dei miglioramenti in uno stabilimento produttivo, in seguito essa può essere applicata alla simulazione quando può aiutare a raccogliere una parte dei dati e a suddividere un sistema complicato in parti più gestibili e meno complesse da sviluppare. In questo modo sarà meno complesso dover creare un modello concettuale per la simulazione.
La combinazione dei due funziona bene in quanto si supportano a vicenda fornendo dati e informazioni che l'altro non fornisce.
La VSM risulta vantaggiosa e rapida nelle prime fasi di uno studio, mentre la DES può essere applicata in tutto lo studio.
In conclusione, è possibile affermare che la simulazione è uno strumento che risulta essere più completo ed affidabile rispetto alla VSM soprattutto grazie al maggiore numero di output che può fornire e grazie alla possibilità di inserimento della variabilità, con la quale il modello rispecchia maggiormente la realtà (grazie all'introduzione delle distribuzioni). [14] [18] [19]

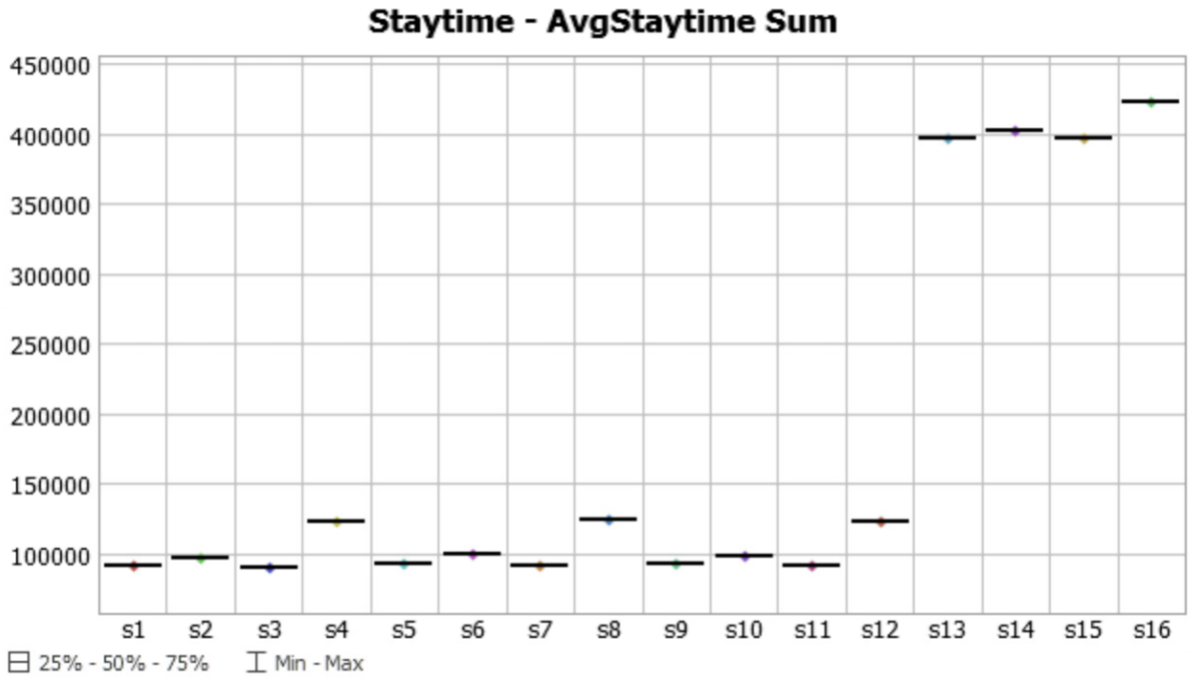
APPENDICE

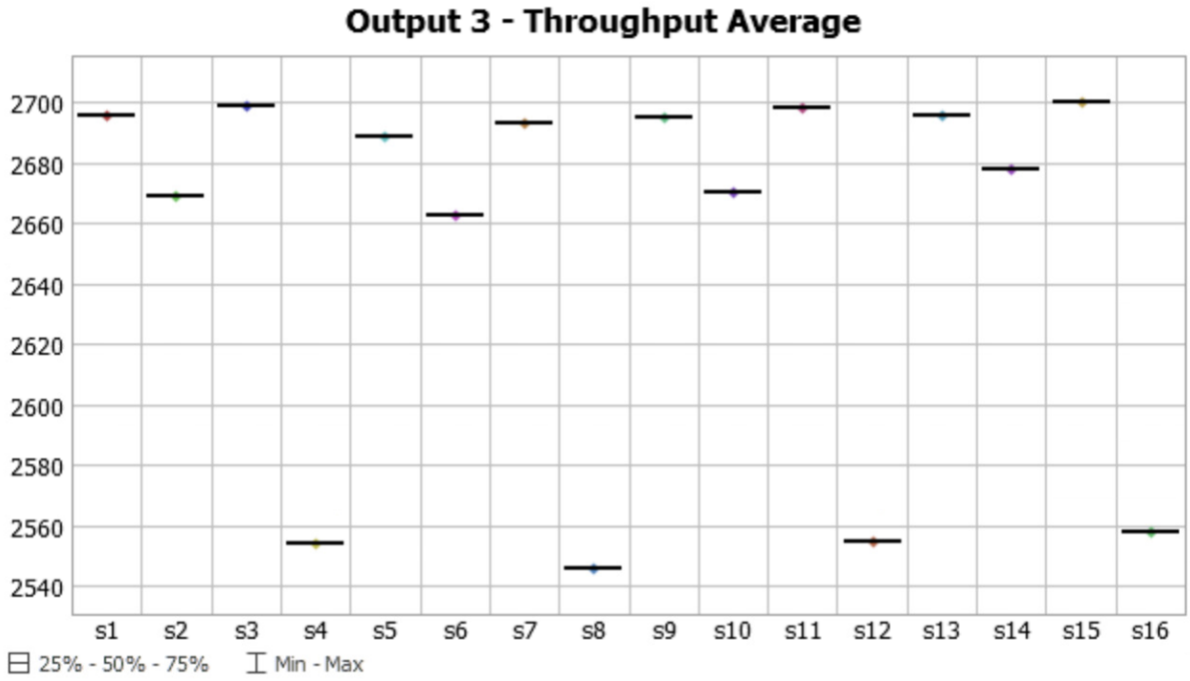
Tabelle Output Scenari Experimenter del caso studio ABC Limited.

Current State Map

Tabelle riassuntive







Scenario 1

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	90.00	85.00	320.00
_2	190.54	152.00	585.31
_3	242.70	200.00	585.31
_4	243.11	150.00	585.31
_5	320.02	320.00	348.39
_6	296.02	296.00	326.28
_7	205.00	205.00	205.00
_8	210.00	210.00	210.00
Queue1	43.36	0.00	4117.94
Queue2	4953.65	0.00	43292.94
Queue3	7665.04	0.00	27228.39
Queue4	16833.88	0.00	38665.31
Queue5	60221.52	0.00	80028.39
Queue6	0.00	0.00	6.28
Queue7	0.00	0.00	0.00
Queue8	0.00	0.00	0.00

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.34
_2	0.70
_3	0.86
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.92
_7	0.64
_8	0.66
Queue1	0.20
Queue2	22.03
Queue3	28.56
Queue4	60.11
Queue5	199.60
Queue6	0.00
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.83

Scenario 2

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	95.48	0.02	1550.88
_2	183.65	0.11	2034.04
_3	146.94	0.01	2178.70
_4	244.72	0.06	2178.70
_5	322.03	0.15	2350.46
_6	299.16	0.04	2571.81
_7	199.13	0.08	1527.46
_8	208.53	0.00	1754.30
Queue1	293.00	0.00	10619.98
Queue2	4750.28	0.00	49101.98
Queue3	6839.60	0.00	36172.08
Queue4	16978.90	0.00	49111.00
Queue5	61543.47	0.00	94397.11
Queue6	4809.02	0.00	16519.39
Queue7	284.58	0.00	2112.28
Queue8	406.42	0.00	3657.30

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.36
_2	0.67
_3	0.52
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.62
_8	0.64
Queue1	1.34
Queue2	21.26
Queue3	25.40
Queue4	60.05
Queue5	202.31
Queue6	14.87
Queue7	0.88
Queue8	1.26

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	88.97

Scenario 3

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	88.83	73.87	419.41
_2	189.49	135.72	512.23
_3	148.74	52.64	566.52
_4	242.42	133.35	566.52
_5	319.61	285.45	585.44
_6	297.27	264.16	672.48
_7	204.85	183.39	414.35
_8	209.45	186.97	417.01
Queue1	25.20	0.00	3107.67
Queue2	4718.54	0.00	42288.08
Queue3	7448.84	0.00	27730.71
Queue4	16636.19	0.00	39009.85
Queue5	59907.41	0.00	80757.52
Queue6	21.70	0.00	342.78
Queue7	0.19	0.00	130.86
Queue8	0.28	0.00	126.31

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.34
_2	0.69
_3	0.53
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	0.12
Queue2	21.09
Queue3	27.82
Queue4	59.51
Queue5	198.90
Queue6	0.07
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.97

Scenario 4

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	124.97	0	2772.86
_2	210.61	0	4986.11
_3	163.05	0	4986.11
_4	256.59	0	4986.11
_5	332.97	0	4301.57
_6	329.67	0	5867.88
_7	211.40	0	3428.99
_8	213.90	0	3315.17
Queue1	2502.99	0	32835.06
Queue2	9557.17	0	52860.20
Queue3	8614.48	0	40763.12
Queue4	19582.81	0	53637.21
Queue5	62214.71	0	100656.37
Queue6	16771.54	0	51565.64
Queue7	594.86	0	5204.46
Queue8	743.42	0	6633.38

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.46
_2	0.74
_3	0.56
_4	0.84
_5	1.00
_6	0.98
_7	0.63
_8	0.63
Queue1	11.57
Queue2	37.96
Queue3	31.04
Queue4	67.22
Queue5	198.44
Queue6	49.96
Queue7	1.76
Queue8	2.20

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	85.13

Scenario 5

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	101.73	85.00	320.00
_2	193.29	152.00	585.31
_3	244.24	200.00	585.31
_4	240.91	150.00	585.31
_5	320.02	320.00	348.39
_6	296.02	296.00	326.28
_7	205.00	205.00	205.00
_8	210.00	210.00	210.00
Queue1	578.85	0.00	16733.10
Queue2	6393.63	0.00	48000.00
Queue3	8219.75	0.00	27228.39
Queue4	16085.57	0.00	38665.31
Queue5	59582.65	0.00	80028.39
Queue6	0.00	0.00	6.28
Queue7	0.00	0.00	0.00
Queue8	0.00	0.00	0.00

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.39
_2	0.70
_3	0.87
_4	0.82
_5	1.00
_6	0.92
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	2.97
Queue2	27.49
Queue3	30.49
Queue4	57.45
Queue5	197.18
Queue6	0.00
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.63

Scenario 6

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	103.08	0.02	2034.04
_2	185.85	0.11	2034.04
_3	152.20	0.01	2178.70
_4	247.27	0.06	2178.70
_5	322.09	0.15	2350.46
_6	299.59	0.04	2571.81
_7	199.19	0.08	1527.46
_8	208.45	0.00	1754.30
Queue1	1009.15	0.00	23065.79
Queue2	5997.20	0.00	54695.42
Queue3	7362.54	0.00	36172.08
Queue4	16623.04	0.00	49111.00
Queue5	61404.32	0.00	94397.11
Queue6	4808.92	0.00	16519.39
Queue7	284.89	0.00	2112.28
Queue8	406.53	0.00	3657.30

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.39
_2	0.67
_3	0.54
_4	0.83
_5	0.99
_6	0.92
_7	0.61
_8	0.64
Queue1	5.19
Queue2	25.81
Queue3	27.19
Queue4	58.71
Queue5	201.31
Queue6	14.82
Queue7	0.88
Queue8	1.25

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	88.77

Scenario 7

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	100.79	73.87	443.05
_2	191.93	135.72	566.52
_3	153.22	52.64	566.52
_4	240.24	133.35	566.52
_5	319.59	285.45	585.44
_6	297.18	264.16	672.48
_7	204.85	183.39	414.35
_8	209.46	186.97	417.01
Queue1	508.50	0.00	15913.31
Queue2	6170.17	0.00	48316.13
Queue3	7806.63	0.00	27730.71
Queue4	15992.34	0.00	39009.85
Queue5	59403.82	0.00	80757.52
Queue6	21.47	0.00	342.78
Queue7	0.19	0.00	130.86
Queue8	0.28	0.00	126.31

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.39
_2	0.70
_3	0.54
_4	0.82
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	2.62
Queue2	26.71
Queue3	29.05
Queue4	57.21
Queue5	196.90
Queue6	0.07
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.77

Scenario 8

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	129.81	0	2976.00
_2	211.94	0	4986.11
_3	164.02	0	4986.11
_4	259.82	0	4986.11
_5	332.98	0	4301.57
_6	331.13	0	5867.88
_7	211.38	0	3428.99
_8	214.01	0	3315.17
Queue1	4056.22	0	43490.01
Queue2	10222.14	0	55006.01
Queue3	8955.15	0	40763.12
Queue4	19113.65	0	53637.21
Queue5	62046.47	0	100656.37
Queue6	16786.79	0	51565.64
Queue7	592.02	0	5204.46
Queue8	744.37	0	6633.38

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.48
_2	0.75
_3	0.56
_4	0.85
_5	0.99
_6	0.98
_7	0.62
_8	0.63
Queue1	19.56
Queue2	40.19
Queue3	32.09
Queue4	65.45
Queue5	197.26
Queue6	49.81
Queue7	1.74
Queue8	2.19

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	84.87

Scenario 9

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	91.81	85.00	320.00
_2	191.51	152.00	585.31
_3	243.17	200.00	585.31
_4	243.63	150.00	585.31
_5	320.02	320.00	348.39
_6	296.02	296.00	326.28
_7	205.00	205.00	205.00
_8	210.00	210.00	210.00
Queue1	83.73	0.00	5764.20
Queue2	5302.66	0.00	44910.23
Queue3	7785.04	0.00	27228.39
Queue4	16937.02	0.00	38665.31
Queue5	60457.28	0.00	80028.39
Queue6	0.00	0.00	6.28
Queue7	0.00	0.00	0.00
Queue8	0.00	0.00	0.00

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.35
_2	0.70
_3	0.86
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.92
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	0.40
Queue2	23.46
Queue3	29.01
Queue4	60.48
Queue5	200.33
Queue6	0.00
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.83

Scenario 10

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	96.31	0.02	1550.88
_2	184.30	0.11	2034.04
_3	147.77	0.01	2178.70
_4	244.80	0.06	2178.70
_5	321.99	0.15	2350.46
_6	299.16	0.04	2571.81
_7	199.13	0.08	1527.46
_8	208.49	0.00	1754.30
Queue1	366.10	0.00	12134.88
Queue2	5030.08	0.00	49873.48
Queue3	6957.28	0.00	36172.08
Queue4	17072.61	0.00	49111.00
Queue5	61688.06	0.00	94397.11
Queue6	4811.58	0.00	16519.39
Queue7	284.66	0.00	2112.28
Queue8	406.51	0.00	3657.30

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.37
_2	0.67
_3	0.52
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.62
_8	0.64
Queue1	1.68
Queue2	22.25
Queue3	25.80
Queue4	60.37
Queue5	202.77
Queue6	14.88
Queue7	0.88
Queue8	1.26

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89

Scenario 11

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	90.81	73.87	419.41
_2	190.26	135.72	512.23
_3	149.98	52.64	566.52
_4	242.93	133.35	566.52
_5	319.62	285.45	585.44
_6	297.27	264.16	672.48
_7	204.85	183.39	414.35
_8	209.45	186.97	417.01
Queue1	57.70	0.00	4753.72
Queue2	5061.92	0.00	43764.01
Queue3	7567.67	0.00	27730.71
Queue4	16747.30	0.00	39009.85
Queue5	60142.93	0.00	80757.52
Queue6	21.70	0.00	342.78
Queue7	0.19	0.00	130.86
Queue8	0.28	0.00	126.31

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.35
_2	0.70
_3	0.53
_4	0.83
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	0.27
Queue2	22.52
Queue3	28.26
Queue4	59.90
Queue5	199.64
Queue6	0.07
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.93

Scenario 12

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	128.14	0	2772.86
_2	211.31	0	4986.11
_3	163.22	0	4986.11
_4	256.61	0	4986.11
_5	332.97	0	4301.57
_6	329.63	0	5867.88
_7	211.63	0	3428.99
_8	214.29	0	3315.17
Queue1	2746.56	0	34151.86
Queue2	9694.14	0	52860.20
Queue3	8680.41	0	40763.12
Queue4	19638.70	0	53637.21
Queue5	62333.98	0	100656.37
Queue6	16774.92	0	51565.64
Queue7	595.65	0	5204.46
Queue8	743.55	0	6633.38

Average Content

Object	AverageWIP
_1	0.47
_2	0.75
_3	0.56
_4	0.84
_5	1.00
_6	0.98
_7	0.63
_8	0.63
Queue1	12.66
Queue2	38.44
Queue3	31.27
Queue4	67.41
Queue5	198.85
Queue6	49.98
Queue7	1.77
Queue8	2.20

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	85.17

Scenario 13

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	261.26	85.00	585.31
_2	273.74	152.00	585.31
_3	281.36	200.00	585.31
_4	281.52	150.00	585.31
_5	320.02	320.00	348.39
_6	296.02	296.00	326.28
_7	205.00	205.00	205.00
_8	210.00	210.00	210.00
Queue1	231864.11	0.00	358597.97
Queue2	39227.60	0.00	48265.31
Queue3	22790.39	0.00	27465.31
Queue4	27616.42	0.00	38665.31
Queue5	70109.52	0.00	80028.39
Queue6	0.00	0.00	6.28
Queue7	0.00	0.00	0.00
Queue8	0.00	0.00	0.00

Average Content

Object	AverageWIP
_1	1.00
_2	1.00
_3	1.00
_4	0.96
_5	1.00
_6	0.92
_7	0.64
_8	0.66
Queue1	1119.85
Queue2	147.47
Queue3	82.33
Queue4	96.94
Queue5	230.54
Queue6	0.00
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.87

Scenario 14

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	262.68	0.03	2190.15
_2	275.18	0.16	2298.34
_3	266.33	0.05	2298.34
_4	293.35	0.06	2298.34
_5	322.09	0.15	2350.46
_6	299.22	0.04	2571.81
_7	199.20	0.08	1527.46
_8	208.28	0.00	1754.30
Queue1	229531.49	0.00	372490.46
Queue2	39364.11	0.00	58424.27
Queue3	20663.94	0.00	36172.08
Queue4	31654.03	0.00	49111.00
Queue5	73132.01	0.00	94397.11
Queue6	4841.91	0.00	16519.39
Queue7	284.79	0.00	2112.28
Queue8	410.78	0.00	3657.30

Average Content

Object	AverageWIP
_1	1.00
_2	1.00
_3	0.94
_4	1.00
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.62
_8	0.65
Queue1	1119.85
Queue2	147.11
Queue3	74.34
Queue4	110.03
Queue5	238.76
Queue6	15.02
Queue7	0.88
Queue8	1.27

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	89.27

Scenario 15

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	260.94	74.22	585.44
_2	273.38	135.96	585.44
_3	259.16	52.83	585.44
_4	292.11	133.35	585.44
_5	319.61	285.45	585.44
_6	297.27	264.16	672.48
_7	204.84	183.39	414.35
_8	209.44	186.97	417.01
Queue1	231492.27	0.00	358968.74
Queue2	39180.23	0.00	48843.43
Queue3	20174.35	0.00	27882.80
Queue4	30661.79	0.00	39296.15
Queue5	72810.83	0.00	80757.52
Queue6	21.72	0.00	342.78
Queue7	0.19	0.00	130.86
Queue8	0.28	0.00	126.31

Average Content

Object	AverageWIP
_1	1.00
_2	1.00
_3	0.92
_4	1.00
_5	1.00
_6	0.93
_7	0.64
_8	0.65
Queue1	1119.85
Queue2	147.50
Queue3	73.13
Queue4	107.48
Queue5	239.33
Queue6	0.07
Queue7	0.00
Queue8	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue8	90

Scenario 16

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
_1	269.87	0	4986.11
_2	283.09	0	4986.11
_3	264.46	0	4986.11
_4	302.40	0	4986.11
_5	333.00	0	4301.57
_6	329.16	0	5867.88
_7	211.42	0	3428.99
_8	214.17	0	3315.17
Queue1	234983.12	0	390238.58
Queue2	40428.60	0	63717.45
Queue3	20377.14	0	40763.12
Queue4	31659.50	0	53637.21
Queue5	74667.50	0	100656.37
Queue6	16774.84	0	51565.64
Queue7	597.72	0	5204.46
Queue8	743.81	0	6633.38

Average Content

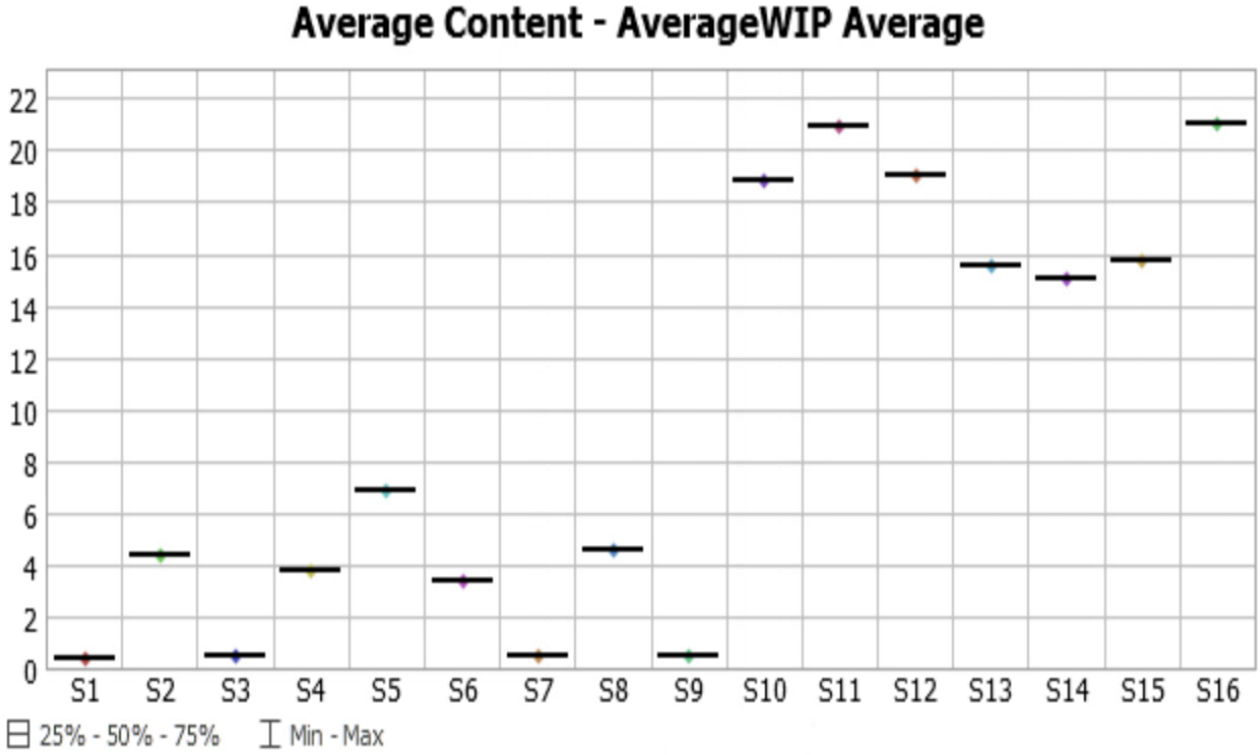
Object	AverageWIP
_1	1.00
_2	1.00
_3	0.91
_4	1.00
_5	1.00
_6	0.98
_7	0.63
_8	0.63
Queue1	1119.85
Queue2	147.06
Queue3	71.47
Queue4	107.07
Queue5	236.11
Queue6	50.04
Queue7	1.79
Queue8	2.21

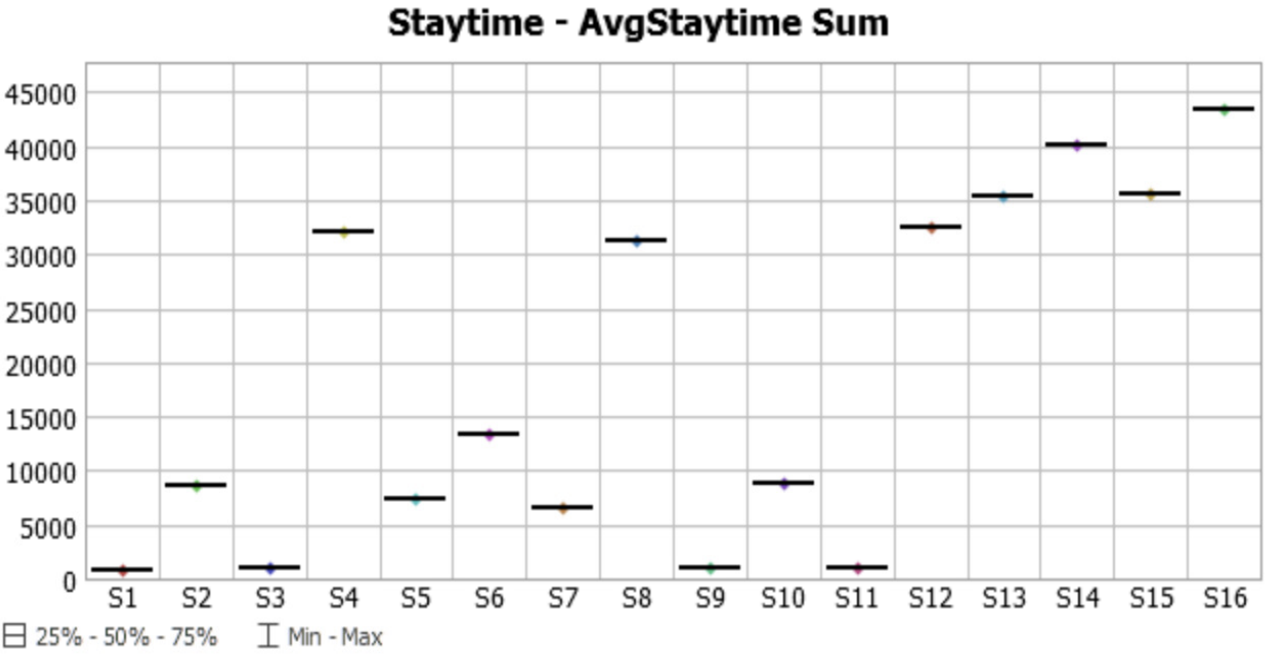
Output / Hour

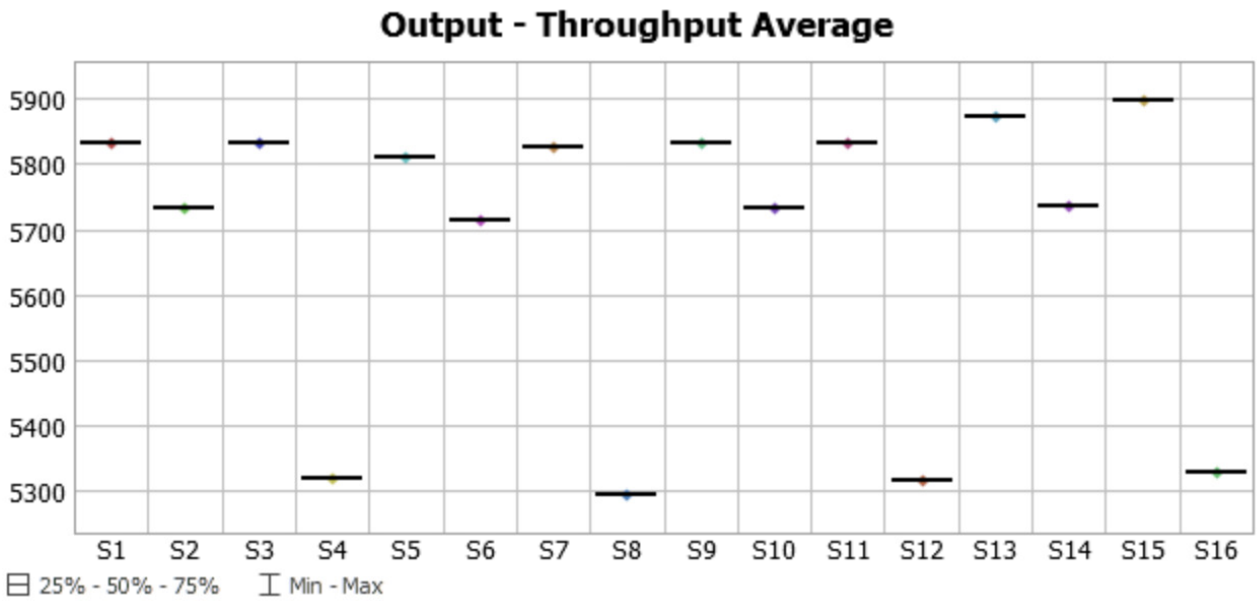
Object	Throughput
Queue8	85.27

Future State Map

Tabelle riassuntive







Scenario 1

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	0.05	0	21.08
Queue2	0.00	0	13.59
Queue3	1.65	0	124.52
Queue4	0.00	0	0.00
Queue5	0.00	0	0.00
Queue6	0.00	0	0.00
_1	147.01	147	169.08
_2	120.01	120	160.59
_3	146.04	146	248.82
_4	132.01	132	153.35
_5	110.00	110	110.00
_6	115.00	115	115.00
_4_1	132.00	132	132.00

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	0.00
Queue2	0.00
Queue3	0.01
Queue4	0.00
Queue5	0.00
Queue6	0.00
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.99
_4	0.89
_5	0.74
_6	0.78
_4_1	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	194.43

Scenario 2

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	3774.36	0.00	10913.78
Queue2	1320.90	0.00	5033.65
Queue3	1901.12	0.00	4729.25
Queue4	31.45	0.00	1179.91
Queue5	284.01	0.00	2257.11
Queue6	369.08	0.00	3081.27
_1	149.07	0.01	1997.88
_2	134.70	0.09	1112.82
_3	145.27	0.01	1275.73
_4	132.54	0.02	1146.89
_5	110.21	0.00	918.92
_6	112.99	0.00	1347.29
_4_1	128.61	0.05	1556.46

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	25.53
Queue2	8.84
Queue3	12.66
Queue4	0.21
Queue5	1.89
Queue6	2.45
_1	1.00
_2	0.90
_3	0.97
_4	0.53
_5	0.73
_6	0.75
_4_1	0.34

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	191.13

Scenario 3

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	63.19	0.00	447.56
Queue2	1.31	0.00	161.58
Queue3	97.12	0.00	524.59
Queue4	0.00	0.00	22.96
Queue5	1.34	0.00	115.15
Queue6	2.45	0.00	169.38
_1	146.29	129.64	424.13
_2	120.24	106.84	299.11
_3	145.94	129.35	552.13
_4	132.50	117.75	343.43
_5	109.74	97.93	256.91
_6	114.77	98.61	283.52
_4_1	132.10	118.13	230.04

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	0.43
Queue2	0.01
Queue3	0.66
Queue4	0.00
Queue5	0.01
Queue6	0.02
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.99
_4	0.77
_5	0.74
_6	0.77
_4_1	0.12

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	194.40

Scenario 4

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	26527.00	0	48761.64
Queue2	1709.79	0	8311.16
Queue3	1681.63	0	7316.20
Queue4	90.45	0	1599.28
Queue5	529.49	0	4870.39
Queue6	628.75	0	4375.97
_1	161.34	0	4206.68
_2	138.43	0	4661.19
_3	150.78	0	4853.15
_4	148.84	0	2616.76
_5	114.21	0	1790.31
_6	117.79	0	2058.55
_4_1	138.85	0	2204.56

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	168.61
Queue2	10.57
Queue3	10.37
Queue4	0.56
Queue5	3.26
Queue6	3.87
_1	1.00
_2	0.85
_3	0.93
_4	0.51
_5	0.70
_6	0.73
_4_1	0.38

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	177.30

Scenario 5

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	6510.45	0.00	16592.96
Queue2	0.00	0.00	13.59
Queue3	2.75	0.00	124.52
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	0.00	0.00	0.00
Queue6	0.00	0.00	0.00
_1	147.01	147.00	169.08
_2	120.01	120.00	160.59
_3	146.04	146.00	248.82
_4	132.01	132.00	153.35
_5	110.00	110.00	110.00
_6	115.00	115.00	115.00
_4_1	132.00	132.00	132.00

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	43.97
Queue2	0.00
Queue3	0.02
Queue4	0.00
Queue5	0.00
Queue6	0.00
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.98
_4	0.89
_5	0.74
_6	0.77
_4_1	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	193.67

Scenario 6

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	8817.21	0.00	21948.45
Queue2	1199.08	0.00	5001.56
Queue3	1784.29	0.00	4729.25
Queue4	27.59	0.00	723.83
Queue5	291.05	0.00	2023.18
Queue6	369.29	0.00	2951.25
_1	148.84	0.01	1997.88
_2	132.30	0.02	1112.82
_3	145.19	0.01	1275.73
_4	132.62	0.02	1146.89
_5	110.17	0.00	918.92
_6	113.04	0.00	1347.29
_4_1	128.08	0.05	1556.46

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	59.58
Queue2	7.99
Queue3	11.86
Queue4	0.18
Queue5	1.93
Queue6	2.44
_1	0.99
_2	0.88
_3	0.96
_4	0.53
_5	0.73
_6	0.75
_4_1	0.34

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	190.50

Scenario 7

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	5478.39	0.00	15065.72
Queue2	1.42	0.00	161.58
Queue3	232.80	0.00	848.61
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	1.34	0.00	103.04
Queue6	2.43	0.00	139.06
_1	146.29	129.64	424.13
_2	120.24	106.84	299.11
_3	145.94	129.35	552.13
_4	132.49	117.75	343.43
_5	109.74	97.93	256.91
_6	114.78	98.61	283.52
_4_1	132.18	118.13	230.04

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	37.04
Queue2	0.01
Queue3	1.57
Queue4	0.00
Queue5	0.01
Queue6	0.02
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.98
_4	0.76
_5	0.74
_6	0.77
_4_1	0.13

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	194.23

Scenario 8

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	25807.66	0	46802.20
Queue2	1656.97	0	8311.16
Queue3	1665.50	0	7316.20
Queue4	87.96	0	1599.28
Queue5	515.56	0	4870.39
Queue6	621.53	0	4375.97
_1	161.30	0	4206.68
_2	138.37	0	4661.19
_3	150.60	0	4853.15
_4	149.02	0	2616.76
_5	114.25	0	1790.31
_6	117.61	0	2058.55
_4_1	138.92	0	2204.56

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	163.03
Queue2	10.21
Queue3	10.25
Queue4	0.54
Queue5	3.17
Queue6	3.81
_1	0.99
_2	0.85
_3	0.93
_4	0.51
_5	0.70
_6	0.72
_4_1	0.38

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	176.53

Scenario 9

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	114.92	0.00	540.76
Queue2	0.00	0.00	13.59
Queue3	1.12	0.00	124.52
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	0.00	0.00	0.00
Queue6	0.00	0.00	0.00
_1	147.01	147.00	169.08
_2	120.01	120.00	160.59
_3	146.04	146.00	248.82
_4	132.01	132.00	153.35
_5	110.00	110.00	110.00
_6	115.00	115.00	115.00
_4_1	132.00	132.00	132.00

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	0.78
Queue2	0.00
Queue3	0.01
Queue4	0.00
Queue5	0.00
Queue6	0.00
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.99
_4	0.89
_5	0.74
_6	0.78
_4_1	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	194.43

Scenario 10

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	4035.53	0.00	10933.03
Queue2	1410.72	0.00	5033.65
Queue3	1907.25	0.00	4729.25
Queue4	31.46	0.00	1179.91
Queue5	284.14	0.00	2257.11
Queue6	369.13	0.00	3081.27
_1	149.21	0.01	1997.88
_2	134.84	0.09	1112.82
_3	145.27	0.01	1275.73
_4	132.54	0.02	1146.89
_5	110.20	0.00	918.92
_6	112.99	0.00	1347.29
_4_1	128.66	0.05	1556.46

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	27.28
Queue2	9.44
Queue3	12.71
Queue4	0.21
Queue5	1.89
Queue6	2.45
_1	1.00
_2	0.90
_3	0.97
_4	0.53
_5	0.73
_6	0.75
_4_1	0.34

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	191.13

Scenario 11

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	114.92	0.00	540.76
Queue2	0.00	0.00	13.59
Queue3	1.12	0.00	124.52
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	0.00	0.00	0.00
Queue6	0.00	0.00	0.00
_1	147.01	147.00	169.08
_2	120.01	120.00	160.59
_3	146.04	146.00	248.82
_4	132.01	132.00	153.35
_5	110.00	110.00	110.00
_6	115.00	115.00	115.00
_4_1	132.00	132.00	132.00

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	0.78
Queue2	0.00
Queue3	0.01
Queue4	0.00
Queue5	0.00
Queue6	0.00
_1	0.99
_2	0.81
_3	0.99
_4	0.89
_5	0.74
_6	0.78
_4_1	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	194.43

Scenario 12

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	26883.07	0	48768.93
Queue2	1709.01	0	8311.16
Queue3	1680.74	0	7316.20
Queue4	88.63	0	1599.28
Queue5	522.84	0	4837.30
Queue6	634.25	0	4828.03
_1	161.34	0	4206.68
_2	138.41	0	4661.19
_3	150.78	0	4853.15
_4	149.32	0	2616.76
_5	114.75	0	1790.31
_6	117.76	0	2058.55
_4_1	139.42	0	2204.56

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	170.81
Queue2	10.56
Queue3	10.36
Queue4	0.55
Queue5	3.22
Queue6	3.91
_1	1.00
_2	0.85
_3	0.93
_4	0.51
_5	0.71
_6	0.72
_4_1	0.38

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	177.23

Scenario 13

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	34557.29	0.00	35302.08
Queue2	0.00	0.00	13.59
Queue3	2.72	0.00	124.52
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	0.00	0.00	0.00
Queue6	0.00	0.00	0.00
_1	147.01	147.00	169.08
_2	120.01	120.00	160.59
_3	146.04	146.00	248.82
_4	132.01	132.00	153.35
_5	110.00	110.00	110.00
_6	115.00	115.00	115.00
_4_1	132.00	132.00	132.00

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	239.99
Queue2	0.00
Queue3	0.02
Queue4	0.00
Queue5	0.00
Queue6	0.00
_1	1.00
_2	0.82
_3	0.99
_4	0.90
_5	0.75
_6	0.78
_4_1	0.00

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	195.77

Scenario 14

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	35121.14	0.00	41462.35
Queue2	1455.53	0.00	5033.65
Queue3	1909.39	0.00	4729.25
Queue4	31.47	0.00	1179.91
Queue5	285.06	0.00	2257.11
Queue6	369.73	0.00	3081.27
_1	149.34	0.01	1997.88
_2	134.95	0.09	1112.82
_3	145.29	0.01	1275.73
_4	132.62	0.02	1146.89
_5	110.17	0.00	918.92
_6	112.99	0.00	1347.29
_4_1	128.67	0.05	1556.46

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	239.99
Queue2	9.75
Queue3	12.73
Queue4	0.21
Queue5	1.90
Queue6	2.46
_1	1.00
_2	0.90
_3	0.97
_4	0.53
_5	0.73
_6	0.75
_4_1	0.34

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	191.27

Scenario 15

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	34392.84	0.00	35896.32
Queue2	1.42	0.00	161.58
Queue3	259.63	0.00	848.61
Queue4	0.00	0.00	0.00
Queue5	1.39	0.00	146.01
Queue6	2.51	0.00	151.25
_1	146.27	129.64	424.13
_2	120.24	106.84	299.11
_3	145.96	129.35	552.13
_4	132.51	117.75	343.43
_5	109.76	97.93	297.41
_6	114.75	98.61	283.52
_4_1	132.21	118.13	230.04

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	239.99
Queue2	0.01
Queue3	1.78
Queue4	0.00
Queue5	0.01
Queue6	0.02
_1	1.00
_2	0.82
_3	1.00
_4	0.77
_5	0.75
_6	0.78
_4_1	0.13

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	196.60

Scenario 16

Staytime

Object	Avg Staytime	Min Staytime	Max Staytime
Queue1	37881.22	0	49213.51
Queue2	1714.68	0	8311.16
Queue3	1685.45	0	7316.20
Queue4	90.49	0	1599.28
Queue5	529.74	0	4870.39
Queue6	629.97	0	4375.97
_1	161.51	0	4206.68
_2	138.62	0	4661.19
_3	150.78	0	4853.15
_4	148.89	0	2616.76
_5	114.11	0	1790.31
_6	117.76	0	2058.55
_4_1	138.71	0	2204.56

Average Content

Object	AverageWIP
Queue1	239.99
Queue2	10.62
Queue3	10.40
Queue4	0.56
Queue5	3.27
Queue6	3.88
_1	1.00
_2	0.86
_3	0.93
_4	0.51
_5	0.70
_6	0.73
_4_1	0.38

Output / Hour

Object	Throughput
Queue6	177.60

BIBLIOGRAFIA

1. LEARNING TO SEE: Value stream mapping to create value and elimate muda.
2. n.d. Value Stream Mapping (VSM).
3. Value Stream Mapping. [Online] https://www.headvisor.it/value-stream-mapping-vsm.
4. Chiarini&associati. Value Stream Mapping (VSM). [Online] https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/valuestreammapping.html.
5. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation A case study. Kodali, Anand Gurumurthy Rambabu. 2010.
6. A VSM APPROACH TO SUPPORT DATA COLLECTION FOR A SIMULATION MODEL. Johansson, Maja Bärring Daniel Nåfors Daniel Henriksen David Olsson Björn. 2017.
7. IDEF method-based simulation model design and development. Ki-Young Jeong, Lei Wu, Jae-Dong Hong. 2009.
8. Value Stream Mapping using Simulation at Metal Manufacturing Industry. Raja Zuraidah RM Rasi, Rohana Abdullah, Nooririnah Oma. 2014.
9. Roser, Christopher. The (True) Difference Between Push And Pull. [Online] 2015.
10. Push and Pull. [Online]. https://www.allaboutlean.com/push-pull/
11. Sharma, Prateek. Discrete-Event Simulation Prateek Sharma. [Online]
12. An evaluation of the value stream mapping tool. Vila, Roberto De Castro. 2008.
13. W. K. V. Chan, A. D'Ambrogio, G. Zacharewicz, N. Mustafee, G. Wainer, and E. Page, eds. A VSM APPROACH TO SUPPORT DATA COLLECTION FOR A SIMULATION MODEL. Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference. 2017.
14. Wahlströmc, Daniel Nåforsa, Maja Bärringa, Maxime Estienneb, Björn Johanssona Mats. SUPPORT DISCRETE EVENT SIMULATION WITH 3D LASER SCANNING AND VALUE STREAM MAPPING: BENEFITS AND DROWBACKS. 2018.
15. Discrete Event Simulation. Wang, Professor Eduard Babulak and Dr Ming. 2015
16. Zucchetti. Consigli pratici su come fare per individuare i colli di bottiglia in produzione. cybertec. [Online] 07 13, 2018. https://blog.cybertec.it/come-identificare-i-colli-di-bottiglia-e-accelerare-la-produzione.
17. Enter software innovativi. MES software: cos'è e come funziona il manufacturing execution system. [Online] https://www.entersoftware.it/mes-manufacturing-execution-system-software/.
18. Daryl Powell, Andreas Binder, Emrah Arica. MES Support for Lean Production. s.l.: Department of Production and Quality Engineering, Norwegian University of Science and Technology.
19. Jürgen Kletti. Springer edition. Manufacturing Execution Systems – MES.