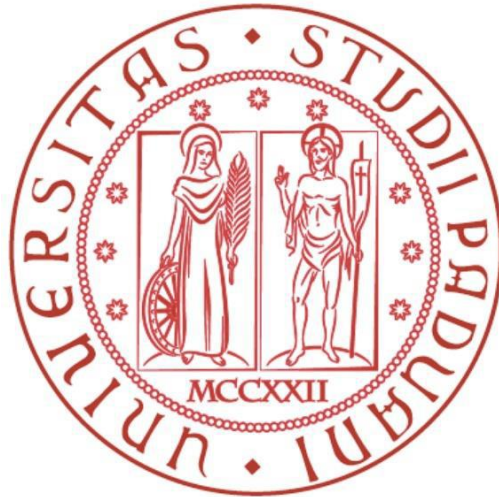


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali
Corso di laurea in Ingegneria Gestionale



I buffer inter-operazionali: un caso applicativo tra linee e reparti

Relatore: Prof. Zennaro Ilenia

Laureando: Giordanelli Marta

Anno Accademico 2023/2024

Sommario

Introduzione	5
Capitolo 1 Cenni teorici	7
Tipologie di produzione	7
Produzione in linea.....	8
Produzione per reparti.....	10
Produzione in celle.....	11
Produzione a postazione fissa.....	14
Produzione ibrida.....	15
Dimensionamento di un impianto	15
Introduzione all'argomento e finalità.....	15
Fasi fondamentali del dimensionamento.....	15
Coefficienti di sicurezza.....	16
Dimensionamento zona 1.....	20
Capitolo 2 Buffer	25
Introduzione.....	25
Necessità di inserimento di un buffer inter-operazionale.....	25
Tipologie di buffer.....	25
Buffer Allocation Problem	28
Metodi di dimensionamento del buffer	29
Explicit solutions method (Soluzioni esplicite)	30
Metodo del serbatoio.....	32
Flussi di materiale all'interno di un buffer.....	34
Metodi di ottimizzazione iterativi.....	35
Metodi di simulazione	36
Capitolo 3 Caso studio	37
Descrizione caso studio	37
Dati iniziali	38
Dimensionamento delle linee asincrone.....	39
Calcolo dei parametri del dimensionamento del buffer.....	45
Dimensionamento del buffer.....	46
Metodo di dimensionamento tramite simulazione.....	52
Introduzione al metodo di dimensionamento di buffer tramite simulazione.....	52
Flexsim.....	52
Elementi di modellizzazione.....	53
Modello di simulazione.....	55
Creazione automatizzata del modello.....	55
Capitolo 4	61
Rappresentazione delle ipotesi di dimensionamento	61
Process Flow.....	62
Conclusioni	69
Indice delle figure	71

Indice delle tabelle	72
Riferimenti Immagini	72
Bibliografia	73

Introduzione

Lo scopo di questo elaborato è di introdurre all'argomento del dimensionamento dei buffer inter-operazionali delle linee asincrone. Tale problematica riguarda soprattutto i sistemi di produzione con layout per prodotto caratterizzato da linee automatizzate dove l'operatore svolge per lo più mansioni di controllo. Le linee di produzione automatizzate sono attualmente utilizzate in molteplici contesti di beni di consumo. Costituite da stazioni di lavoro e macchinari, hanno l'obiettivo di trasformare materie prime grezze in prodotti finiti. Questi sistemi si contraddistinguono per la loro efficienza, nata da un'accurata organizzazione interna che consente alle imprese di avere alti valori non solo in termini di utilizzo del macchinario (del singolo macchinario e dell'intera linea) ma anche nella riduzione dei tempi di produzione e dei costi, riuscendo così a sviluppare un ricavo molto superiore rispetto ad altre tipologie di organizzazione produttiva.

La produzione in linea è comunemente utilizzata nell'ambito della produzione industriale di grandi lotti di prodotti finiti che devono essere prodotti in serie e che spesso prevedono l'uso di mezzi di supporto come i buffer. I buffer sono delle aree di stoccaggio poste tra i differenti stadi produttivi o tra reparti produttivi con lo scopo di gestire i flussi di materiali semilavorati tra le diverse stazioni. Nelle linee automatizzate tali magazzini sono rappresentati da dei polmoni nei trasporti rigidi che collegano le varie stazioni. Il compito principale di questi polmoni è quello di diminuire gli effetti negativi di eventuali inefficienze dei macchinari o rallentamenti nella linea, consentendo così agli stadi di produzione di evitare fenomeni blocking e starving ovvero fermate e code.

I buffer consentono quindi di garantire un andamento costante nella produzione dei materiali, mantenendo stabili anche l'efficienza dei macchinari e i loro indici di utilizzo. Essi rappresentano però anche un costo e un consumo di spazio per l'azienda, che cercherà di ridurre l'impatto sul resto della linea di produzione.

Come si vedrà nell'elaborato il dimensionamento del buffer è molto complesso e può essere effettuato con varie tecniche. Tale elaborato ha lo scopo di valutare e confrontare due tecniche diverse di dimensionamento, una empirica di calcolo esatto e diretto, ma basata sulla disponibilità dei dati, e una simulativa.

La tesi mira quindi a mostrare attraverso un caso studio non solo la complessità del calcolo della capacità ottimale del buffer ma anche a visionare come si modificano gli andamenti dei flussi di materiali interni tramite una simulazione 3D.

Capitolo 1 Cenni teorici

Tipologie di produzione

La costruzione di un diagramma P-Q ci aiuta a identificare le quattro categorie principali di layout che possiamo suddividere in base al tipo di prodotto e ai volumi produttivi; è uno strumento usato per visionare le principali tipologie di Layout, aiutandoci con la curva di Pereto.

Nello studio del dimensionamento è importante conoscere il tipo di produzione perché ci consente di identificare quale metodo di dimensionamento è il più adatto per ricavare valori come: il numero di macchinari, il grado di automazione e il ruolo che ricopriranno gli operatori.

Uno strumento molto diffuso è il diagramma P-Q (Figura 1) che inizia con la costruzione in un grafico istogramma del rapporto tra il numero di prodotti in produzione e la quantità realizzata per ogni tipologia di prodotto. Approssimando il grafico con una curva otterremo tre zone e quattro layout differenti che indicano le tipologie di produzione.

Analizzando il grafico si può notare che al crescere della varietà di prodotti finiti generati da un'azienda, i volumi produttivi diminuiscono.

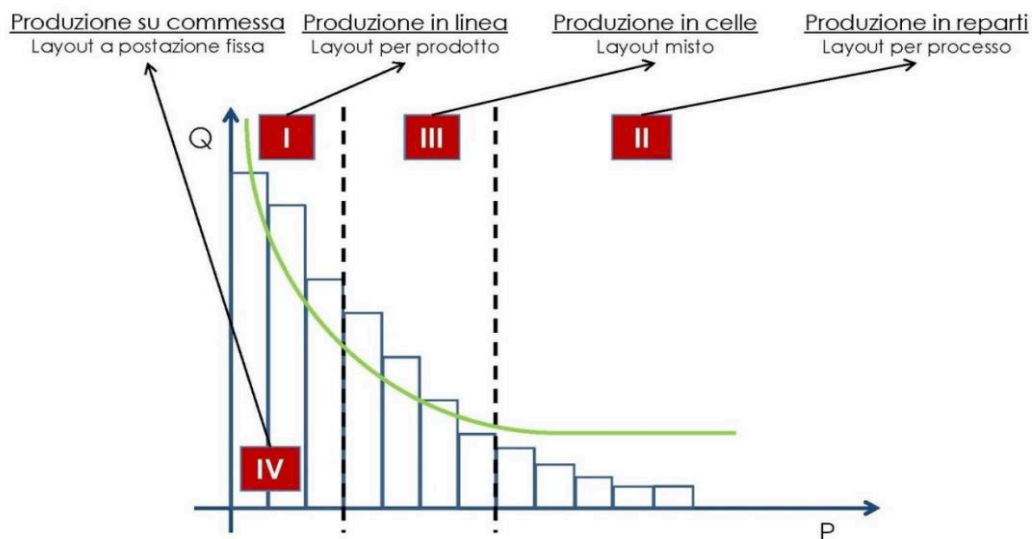


Figura 1- Diagramma P-Q

- Zona I: Produzione in linea o Layout per prodotto. Caratterizzata da poca varietà di prodotti finiti realizzati in quantità elevate.
- Zona II: Produzione in reparti o Layout per processo. Caratterizzata da elevata varietà di prodotti finiti realizzati in quantità basse.
- Zona III: Produzione in celle o layout misto. Caratterizzata da una produzione di tipo misto. La zona III è una zona intermedia di transizione.
- Zona IV: Produzione su commessa o layout a postazione fissa. Caratterizzata da elevata varietà di prodotti finiti realizzati in quantità basse

Produzione in linea

Le aree dello stabilimento sono suddivise in modo che in ognuna di esse venga lavorato un solo prodotto o una ristretta famiglia di prodotti; le macchine sono quindi disposte in sequenza in modo da basarsi interamente sul ciclo tecnologico del prodotto finale.

Questo tipo di layout ha una bassa varietà sulla base di quantità elevate, le materie prime viaggiano attraverso la linea di produzione tramite sistemi di trasporto fissi come nastri trasportatori e linee transfer, i macchinari sono in genere fermi e vicini tra loro aumentando la velocità di trasporto dei prodotti da uno stadio a un altro. Il percorso dei materiali è, quindi, lineare e in un'unica direzione fino alla conclusione del ciclo tecnologico. Il ciclo tecnologico è trasparente. È infatti riconoscibile a occhio nudo il flusso dei materiali, come è possibile vedere in Figura 2.

La quantità di macchinari è bassa e anche la varietà; si tratta però di tecnologie molto costose spesso basate sul tipo di layout di produzione e con bassa manutenzione necessaria.

La manodopera è generica e dedicata a ruoli di supervisione. Gli spazi interni allo stabilimento sono spesso usati al meglio e la produzione risulta molto rapida.

Altri vantaggi sono:

- elevata efficienza dovuta al flusso produttivo
- riduzione dei tempi di trasporto dei materiali (dovuti alla minore movimentazione)
- riduzione del livello di scorte
- semplificazione dei processi di controllo e gestione della produzione
- minore superficie di stabilimento richiesta

- operatori non per forza altamente qualificati
- Si hanno bassi Work In Progress (W.I.P.): i semilavorati non rimangono molto in attesa prima di passare alla stazione successiva.

Invece gli svantaggi correlati all'adozione di tale tipologia di layout sono:

- scarsa flessibilità
- produttività legata alla macchina/stazione più lenta (collo di bottiglia)
- guasti e imprevisti possono provocare il blocco dell'intera linea in base alla loro gravità e al dimensionamento dei buffer intermedi tra le stazioni
- investimenti elevati per alta automazione
- scarsa soddisfazione dell'operatore che esegue operazioni ripetitive

Il coefficiente di utilizzo è estremamente alto in genere con valori sopra l'80%; questo dato è dovuto principalmente al fatto che i tempi di set up sono molto bassi, ovvero il periodo in cui vi è la necessità di ricalibrare la macchina ed il livello di automazione non è elevato azzerando i tempi previsti per il riposo del personale.

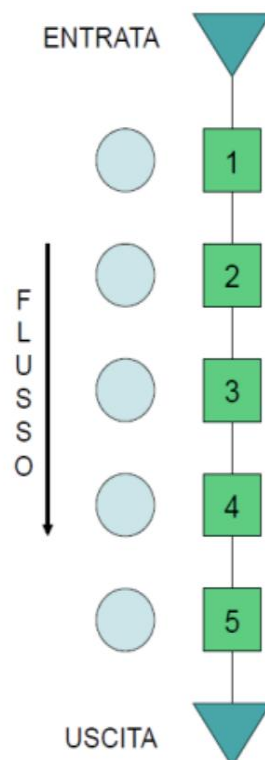


Figura 2- Linea di produzione sincrona

Produzione per reparti

La produzione per reparti riunisce tutte le lavorazioni della stessa tipologia e i relativi macchinari in un'unica area tecnologicamente omogenea.

In questo tipo di layout prodotti diversi possono essere presenti nello stesso reparto per essere sottoposti a tipi di produzione simili. Il percorso del prodotto, di conseguenza, non è lineare come per la produzione in linea ma ogni singolo bene ha un percorso unico e può passare da un reparto a un altro seguendo il proprio ciclo tecnologico. Per questo motivo i percorsi dei diversi prodotti sono tra loro incrociati ed essendo che per motivi logistici i reparti tra loro non sono sempre limitrofi le movimentazioni del personale e i flussi di materiali tra i macchinari sono molto elevati e prevalentemente manuali con l'utilizzo di pallet e carrelli elevatori, quindi eseguiti da operatori specializzati, che hanno anche necessità dello spazio necessario per tali operazioni.

Gli spazi richiesti saranno molto più elevati ed il layout non è trasparente: sono visibili esclusivamente i processi svolti nei reparti e non è dunque possibile riconoscere ad occhio l'intero ciclo tecnologico che segue un certo prodotto, come è evidente in Figura 3. Talvolta lo spazio può non essere ben strutturato lasciando una certa porzione di area per il trasporto dei materiali attraverso mezzi o operatori.

Un'altra differenza rispetto la zona precedente sono i macchinari, che sono generici: i tempi di set-up sono molto più lunghi perché il macchinario deve essere adattato al tipo di prodotto presente.

Anche il WIP (work in process, materiale in corso di lavorazione) è elevato a causa dell'elevato numero di cicli tecnologici presenti.

È una produzione adatta ad aziende che realizzano una grande varietà di prodotti con volumi bassi ed è tipica della produzione intermittente a lotti.

Vantaggi

- Consente alta flessibilità per far fronte al numero di prodotti tra loro eterogenei
- Controllo e supervisione più efficaci
- Le operazioni sono poco ripetitive, quindi stimolanti per l'operatore

Svantaggi

- I costi dei macchinari sono più alti

- I tempi di produzione sono più lunghi
- Necessità di acquisire più personale, anche specializzato
- Lead-time alto
- Essendo la produzione complessa potrebbero esserci dei problemi nella gestione di essa

Il coefficiente dei macchinari è intorno al 40%, questo è dato dal fatto che i macchinari non sono mai utilizzati per la produzione di un prodotto specifico e spesso sono richiesti tempi di set-up molto lunghi. Il macchinario, dunque, anche se attivo non produce.

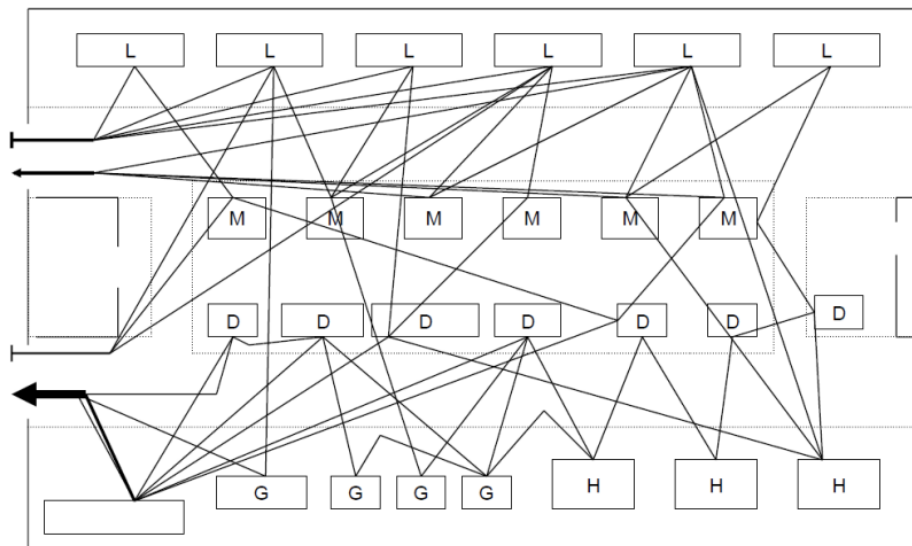


Figura 3- Schema semplificato del flusso dei diversi prodotti attraverso i reparti

Produzione in celle

La produzione a celle nasce come conseguenza della grande complessità che può raggiungere l'organizzazione dei flussi di un layout per processo. Il layout a celle flessibili è formato da aree delimitate che sono in grado di produrre famiglie di prodotti.

Se andiamo a considerare la varietà di prodotti di un'azienda si potrebbe infatti capire che alcuni di loro hanno un ciclo tecnologico simile o che può essere standardizzato (evitando il rischio di rendere i prodotti troppo simili tra loro) e quindi poterli produrre in una singola cella.

Questo concetto viene definito: Group Technology ovvero famiglia di prodotti.

Si cercano delle similarità tra i prodotti definite come condizioni di omogeneità ovvero attributi di progetto (forma caratteristica, dimensioni etc.) o attributi di fabbricazione (ciclo di produzione, attrezzature necessarie etc.). La filosofia mira a raggruppare tutti i prodotti in famiglie in modo da rendere la produzione più logisticamente conveniente sotto diversi punti di vista tra cui quello economico e di riduzione di tempi.

L'obiettivo principale è di mantenere i benefici della produzione in linea e di quella per reparti mantenendo alta la varietà di prodotti. All'interno della cella si possono organizzare le postazioni e il flusso dei materiali nel modo più appropriato.

Vantaggi

- Ottimo compromesso costo e flessibilità
- I macchinari sono versatili e hanno alta produttività
- Riduzione dei W.I.P.: rispetto alla Zona II non ci sono più lotti che devono spostarsi da un reparto ad un altro e aspettare prima di poter essere lavorati
- Tempi di attraversamento rapidi
- Tempi di set-up molto bassi
- Le operazioni sono poco ripetitive e brevi, quindi stimolanti per l'operatore

Svantaggi

- L'organizzazione può rivelarsi molto complessa
- Una mancata organizzazione potrebbe portare a colli di bottiglia critici
- Tempi di implementazione molto lunghi data la complessità della progettazione

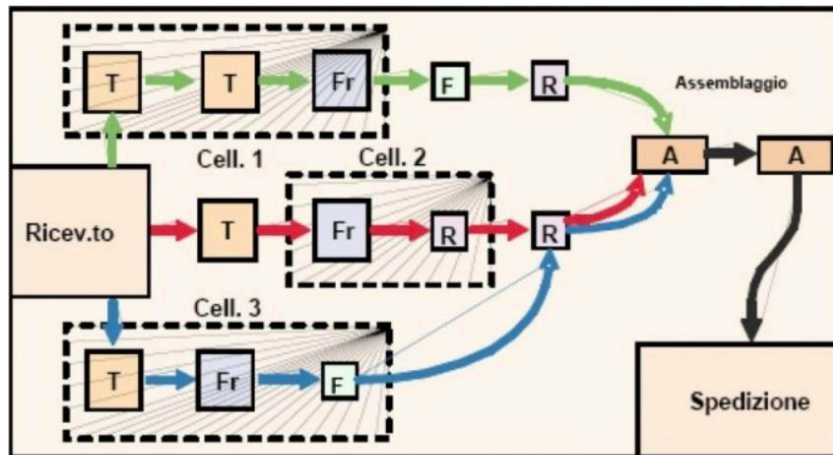


Figura 4- Esempio di produzione in cella

Generalmente la Group Technology prevede l'attuazione di tre attività, che possono essere svolte in sequenza o anche singolarmente come è possibile vedere nella Figura 4 che mostra le attività svolte in sequenza.

1. Razionalizzazione del progetto: si considerano tutti i prodotti finiti e si cercano gli aspetti più importanti a livello tecnologico e di progetto. In alcune aziende è stato anche attuato il metodo della standardizzazione; producendo lo stesso semilavorato, infatti, diventa possibile realizzare più prodotti finiti.
2. Razionalizzazione del ciclo tecnologico: si cerca di elaborare un ciclo produttivo standard per ogni famiglia di prodotti; in questo modo si diminuiscono i flussi produttivi.
3. Razionalizzazione del processo e del layout: si ricerca la disposizione ottimale dei macchinari oppure la posizione dei micro-processi in base alle famiglie. Questo passaggio è anche il più complesso in quanto bisogna considerare anche la specificità delle macchine.

In questo modo si ottiene la cella flessibile di produzione, che può essere di due tipi: un'unica cella in grado di produrre l'intera famiglia, oppure più celle in sequenza per produrre l'intera famiglia.

Il livello di automazione è programmabile e flessibile. Si possono avere celle con operatori umani e movimentazioni poco automatizzate (zona II), o celle con robot antropomorfi e navicelle per il trasporto (zona I).

Le celle altamente automatizzate sono chiamate FMS (Flexible Manufacturing System).

Produzione a postazione fissa

Questa produzione prevede che l'oggetto del processo di trasformazione sia statico: saranno quindi gli operatori e i macchinari a concentrarsi sulla costruzione del prodotto.

Data la particolarità di questo tipo di produzione i macchinari devono essere flessibili.

La tipologia di layout a punto fisso è necessaria quando:

- non vi è possibilità di muovere il semilavorato
- il peso è elevato
- la varietà di pezzi è molto alta ma la quantità è pari a uno
- il volume è elevato



Figura 5-Costruzione di un aereo con produzione a postazione fissa

Alcuni esempi: aerei (Figura 5), navi e edifici.

Nonostante lo spazio necessario per questo tipo di produzione debba essere molto ampio e il personale specializzato, la produzione è caratterizzata da grande flessibilità e consente di realizzare prodotti finiti unici.

Produzione ibrida

I layout ibridi consistono nella presenza all'interno della stessa struttura di due o più tipologie di produzione viste precedentemente. In genere si trovano in aziende con alto mix di prodotti, rispetto alle strutture con un unico layout e vi sono maggiori difficoltà di progettazione e costi di allestimento più elevati.

Dimensionamento di un impianto

Introduzione all'argomento e finalità

Il dimensionamento è parte dello studio sulla gestione di un progetto ovvero un insieme di attività volte ad ottimizzare il layout finale del sistema produttivo interno ad una azienda.

Per assicurarsi il raggiungimento degli obiettivi vi è la necessità di definire un obiettivo monetario e di produzione valutando quindi la quantità ottimale da produrre per ottenere un ritorno economico dagli investimenti.

Lo studio antecedente al dimensionamento ci aiuta a determinare se un impianto ha senso di essere realizzato; quindi, se è conveniente proseguire con la sua costruzione e se può portare all'azienda un profitto.

Fasi fondamentali del dimensionamento

Considerando innanzi tutto il fattore fondamentale ovvero la potenzialità di stadio Q_u che deriva dalla Q_{ott} ricavata dallo Studio di Fattibilità, il dimensionamento verrà applicato secondo quello che è il ciclo tecnologico ipotizzato, sempre ricavato da studi precedenti e dalla scelta della Tipologie di produzione più adatta in base all'insieme di prodotti o il prodotto che andremo a prendere in considerazione durante lo studio. Il dimensionamento e i suoi valori ci serviranno per ricavare:

1. Definizione delle potenzialità di stadio e di reparto
2. Il numero di macchine di linea o di reparto

Le potenzialità di stadio possono essere definite come la quantità di materiale che deve essere in grado di produrre secondo i criteri di:

1. quantità della produzione
2. velocità di produzione

La potenzialità di stadio verrà calcolata per ogni singolo reparto con il valore identificato con la lettera Q_j ed espresso con le seguenti unità di misura: pezzi/secondo, pezzi/ora, pezzi/giorni.

Successivamente si andrà a calcolare il numero di macchinari per il singolo reparto ricavato dal rapporto tra le potenzialità di stadio o potenzialità programmata e la potenzialità di saturazione ricavata dal tempo nominale della macchina per lavorare un pezzo.

Come ultima fase fondamentale sarà necessario calcolare il coefficiente di utilizzo degli stadi e della linea attraverso il:

1. coefficiente di utilizzo teorico
2. coefficiente di utilizzo reale
3. coefficiente di utilizzo della linea teorico
4. coefficiente di utilizzo della linea reale

Coefficienti di sicurezza

Per il calcolo della potenzialità di linea e di reparto dovremo andare a considerare dei valori detti Coefficienti di sicurezza, K , che ci consentono di analizzarne le inefficienze legate alla produzione dei singoli reparti o macchinari. Tali inefficienze possono essere descritte da 4 coefficienti, ciascuno dei quali rappresenta una diversa fonte:

1. Coefficiente di scarto: Il coefficiente si scrive con il simbolo K_1 . Il valore assume la percentuale di materiale scartato o una certa percentuale di pezzi difettosi all'interno di una lavorazione per il reparto produttivo $Q_{i,j}$ che subirà quindi una riduzione del volume in uscita da tale stadio o macchinario secondo tale relazione, dimostrabile:

$$K_1 = \text{rendimento di scarto}$$

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

Possiamo quindi definire:

$$P_j = \text{percentuale di scarto}$$

$$S_j = Q_j \times P_j$$

$$Q_{u,j} = Q_j - Q_j P_j$$

$$Q_{u,j} = Q_j(1 - P_j)$$

$K_1 = 1 - P_j$ coefficiente di rendimento di scarto. I valori utilizzati per ricavare tale valore sono:

- $Q_{u,j}$ potenzialità in uscita dal reparto j
- Q_j potenzialità in entrata dal reparto j
- S_j quantità di semilavorato scartata

2. Coefficiente di disponibilità: Il coefficiente si scrive con il simbolo K_2 . Descrive la disponibilità del macchinario rispetto ai valori di guasto e set up. Il macchinario viene definito secondo il tempo totale di lavorazione dato dalla somma di UPTIME e DOWN TIME rispettivamente il tempo disponibile per la lavorazione (ossia l'UPTIME) e il tempo non disponibile per la lavorazione (DOWNTIME):

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

Nell'immagine seguente (Figura 6) è possibile vedere l'andamento dei periodi di tempo dove la macchina è disponibile o meno per la lavorazione.

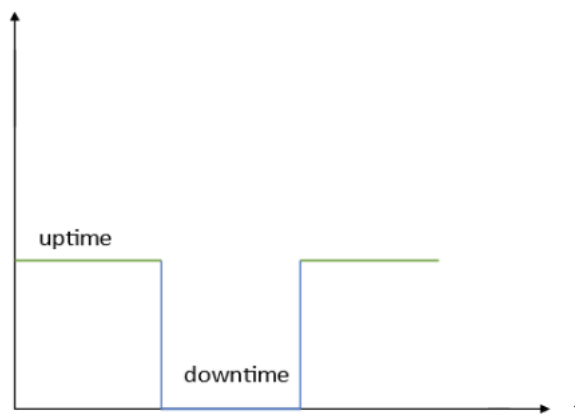


Figura 6- Andamento dell'utilizzo del macchinario

3. Coefficiente di efficienza Lavoratori: Il coefficiente si scrive con il simbolo K_3 . Racchiude l'insieme dei rallentamenti dovuti all'operatore. Tale valore indica quindi l'efficienza degli operatori all'interno di una linea produttiva. Il coefficiente è variabile e può dipendere da:

- fatica
- stanchezza
- pause fisiologiche
- natura delle condizioni di lavoro

4. Coefficiente di Utilizzo: Il coefficiente è rappresentato da K_4 . Il coefficiente considera delle possibili fermate, brevi (come le micro-fermate) dovute a:

- inceppi del macchinario
- attese
- mancanza del materiale

Non tiene conto di pause programmate, dovute a diversi fattori come:

- manutenzione programmata
- set up del macchinario
- pause lunghe dovute a necessità meccaniche del macchinario

Possiamo calcolarlo con la formula:

$$K_4 = \frac{\text{Production Time}}{\text{Up time}}$$

L' UPTIME è il tempo di effettivo utilizzo mentre PRODUCTION TIME è un intervallo di tempo all'interno dell'UPTIME in cui il macchinario ha effettivamente lavorato.

Il prodotto di tutti questi fattori rende possibile il calcolo del rendimento dello stadio j:

$$Q_j = \frac{Q_{uj}}{(K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4)_j} [\text{pz/h}]$$

$\prod_{i=1}^4 K_i = \eta_j$ Rendimento dello stadio j.

Calcolo del numero di macchinari:

- t_j = tempo nominale della macchina per la lavorazione di un unico pezzo [min/pz]
- Q'_j = potenzialità di saturazione, si calcola con la seguente equazione se espresso in minuti [h/pz]

$$Q'_j = \frac{60}{t_j} \left[\frac{\text{pz}}{\text{h}} \right]$$

$$n'_j = \frac{Q_j}{Q'_j} = \frac{Q_j \times t_j}{60}$$

Otteniamo così il numero ideale di macchinari.

Il numero reale di macchinari potrà essere calcolato andando ad approssimare per eccesso il valore ottenuto dal calcolo per il numero ideale.

Come ultima fase fondamentale sarà necessario calcolare il coefficiente di utilizzo degli stadi e della linea attraverso:

- calcolo del coefficiente di utilizzo teorico

$$U_{t,j} = \frac{n_j^i}{n_j} [\%]$$

- coefficiente di utilizzo reale

$$U_{r,j} = U_{t,j} \times K_{4,j} [\%]$$

- coefficiente di utilizzo della linea teorico

$$U_{t,linea} = \frac{\sum_j U_{t,j} \times n_j}{\sum_j n_j} [\%]$$

- coefficiente di utilizzo della linea reale

$$U_{r,linea} = \frac{\sum_j U_{r,j} \times n_j}{\sum_j n_j} [\%]$$

Questi coefficienti ci consentono di stimare la coerenza dell'impianto col tipo di produzione ipotizzata.

Dimensionamento zona 1

Negli stabilimenti che lavorano con una produzione in linea, spesso la disposizione delle macchine è in serie. Di fatto tale tipologia di produzione si basa sul concetto per cui un materiale entrerà da una estremità ed uscirà dall'altra finito e pronto alla vendita.

Un fattore fondamentale sarà quindi non solo il trasporto tra un macchinario e un altro che spesso avviene per nastri trasportatori ma la disposizione dei macchinari.

Questo tipo di produzione prevede spesso la presenza di un magazzino o di un luogo di stoccaggio per materie prime o per prodotti finiti che attendono di essere imballati e spediti.

Per il dimensionamento di un impianto di zona 1 useremo il metodo dei Calcoli Diretti. Ponendo come condizione, vista nel capitolo precedente, che il numero di materiale in entrata nel reparto dovrà essere inferiore rispetto a quello in uscita ed utilizzando i coefficienti di sicurezza andremo a distinguere la produzione in linea sincrona e asincrona.

i. Linea Sincrona

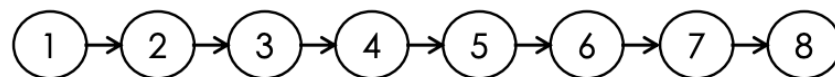


Figura 7- Linea asincrona

La figura 7 rappresenta una linea di produzione dove tutti gli stadi sono collegati in modo diretto. Per svolgere il calcolo si deve partire dallo stadio di lavorazione più a valle procedendo verso quello più a monte. Considerando quindi i due valori fondamentali ovvero la potenzialità di linea ed i coefficienti di sicurezza andremo a calcolare la quantità in entrata di ciascun reparto:

$$Q_j = \frac{Q_{j+1}}{\eta_j} \left[\frac{p^z}{h} \right]$$

Una linea sincrona si differenzia perché non ha buffer all'interno del ciclo produttivo; quindi, non c'è alcuna interruzione del processo tra due reparti. Questa tipologia di impianto è difficile da trovare nella realtà e quindi poco applicata all'interno delle operazioni perché tende a rendere dipendenti i reparti tra loro. Il reparto Q_{j+1} sarà

infatti dipendente dalla produzione del reparto Q_j , così come Q_{j+2} sarà dipendente da Q_{j+1} .

Due grandi problemi delle linee sincrone sono:

- blocking: si ha quando si ferma la macchina a valle e la macchina a monte non ha più lo spazio per produrre
- starving: si bloccano le macchine a monte e quelle a valle non hanno più pezzi da lavorare.

Un grande svantaggio della linea sincrona è causato anche dalla velocità di produzione dei singoli reparti che tra loro devono essere attentamente coordinati per evitare code all'interno dei singoli stadi che andrebbero a rallentare l'intera catena produttiva.

ii. Linea Asincrona



Figura 8- Linea Asincrona

La figura 8 rappresenta una linea di produzione in cui si prevede l'inserimento di buffer tra uno stadio e quello successivo. Gli stadi sono tra di loro disaccoppiati, con la presenza di depositi attentamente dimensionati.

Questo tipo di produzione è più comune perché permette una produzione meno dipendente dall'efficienza degli stadi e consente una variabilità di produzione.

L'inserimento del buffer può aiutare la linea di produzione a risolvere eventuali problematiche causate da:

- rallentamenti
- micro-fermate
- guasti

Anche se non permette la risoluzione totale del problema.

Il buffer è appunto un deposito intermedio di materiale che consente di disaccoppiare due stadi (o due macchine) creando una sorta di accumulo. I vantaggi principali sono:

- macchine e stadi meno sovradimensionate

- costi di investimento bassi

Il sovradimensionamento dei macchinari è un problema proprio delle linee sincrone che tendono ad avere potenzialità molto alte soprattutto per le operazioni più a monte dato che nel calcolo della Q_j in entrata si considerano anche i coefficienti di sicurezza che portano ad avere una Q_{sat} , ovvero una quantità di saturazione molto alta. I dati potrebbero quindi portare a una cattiva ottimizzazione dei macchinari e dello spazio utilizzato per la produzione. Gli svantaggi:

- aumento dei WIP
- costi di investimento dei buffer
- costi di manutenzione
- spazio occupato dal buffer

Il buffer deve essere dimensionato secondo le quantità di materiale in entrata e in uscita; si deve però sempre considerare il costo dei semilavorati che se in attesa per tempi troppo lunghi all'interno del deposito potrebbero portare a costi elevati per l'azienda.

Per il calcolo delle potenzialità di stadio il buffer pone al 100% tutti i coefficienti relativi di sicurezza dato che rende i macchinari tra loro disaccoppiati. Non vale lo stesso per il coefficiente K_1 in quanto un pezzo difettoso rimane tale anche con la presenza di un buffer.

La formula sarà quindi:

$$Q_j = \frac{Q_u / (\prod_{s=j+1}^n K_{1,s})}{\eta_j} \left[pz / h \right]$$

Con $\eta_j = K_{1,j} \times K_{2,j} \times K_{3,j} \times K_{4,j}$

In generale si ottengono degli andamenti per i costi di produzione e per quelli di mantenimento del buffer; attraverso il grafico successivo (Figura 9) possiamo osservare che all'aumentare della grandezza del buffer i costi dei macchinari diminuiscono, perché diminuisce il loro sovradimensionamento.

Sempre dal grafico possiamo osservare che il punto di minimo della curva rappresentante i costi totali aiuta a ricavare la dimensione ottimale del buffer.

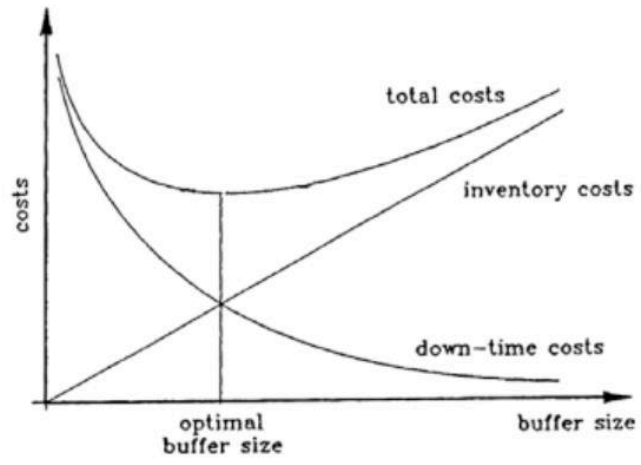


Figura 9- Andamento costi rispetto al dimensionamento del Buffer

Capitolo 2 Buffer

Introduzione

Necessità di inserimento di un buffer inter-operazionale

Come precedentemente citato il buffer situato tra due reparti o tra due macchinari è un deposito intermedio che consente di disaccoppiare due stadi, diminuendo così l'interdipendenza tra i suddetti stadi di produzione in linea, creando una zona temporanea di stoccaggio che comporta i seguenti vantaggi:

- Ottimizzazione dello spazio: lo spazio disponibile viene sfruttato per accogliere una maggiore quantità di prodotti, in attesa di successive operazioni.
- Vicinanza e coordinamento: il buffer è perfettamente coordinato e collegato con le altre aree di lavoro dove si svolgono processi come la preparazione di ordini, kit o spedizioni. Di conseguenza, produzione e spedizione vengono velocizzati.
- Riduzione degli errori: nel buffer, i prodotti vengono organizzati seguendo l'ordine in cui sono richiesti. In tal modo, gli errori sono ridotti al minimo e la fornitura è più dinamica.

Tipologie di buffer

Per adeguarsi maggiormente alle molteplici tipologie di produzione esistono svariate tipologie di buffer, che si differenziano in base al tipo di compito svolto.

- a. Buffer a nastro trasportatore: è la tipologia più utilizzata e comunemente legata al dimensionamento di una Zona I. Essi sono composti da un insieme di nastri posizionati tra i differenti stadi di produzione in modo da collegare le differenti stazioni (Figura 10) e garantire lo spostamento dei materiali lungo il nastro. Lo spostamento è sincronizzato tra le differenti macchine e sono utili quando è fondamentale gestire grandi quantità di prodotti soprattutto se piccoli o molto pesanti.



Figura 10- Nastro trasportatore, Baldacci Meccanica

- b. Buffer a pallet: il trasporto dei semilavorati o dei prodotti finiti viene facilitato dall'uso dei pallet, come si può vedere nella Figura 11, trasportati lungo la catena produttiva. I pallet sono piattaforme, di differenti forme e struttura principalmente utilizzate per l'imballaggio all'interno delle aziende.



Figura 11- Buffer a pallet

- c. Buffer rotante: il buffer è composto da una tavola rotante circolare che ruota in modo costante, dove i macchinari stoccano i semilavorati per prelevarli in modo sincronizzato (Figura 12). È molto utilizzata nell'industria manifatturiera e in presenza di assemblaggio di prodotti complessi. La piattaforma consente di ridurre i tempi di inattività e le micro-fermate.



Figura 12- Buffer rotante (meccanica, Parma)

- d. Buffer di accumulo su tavola vibrante: i buffer utilizzano tavole vibranti o piattaforme che consentono di accumulare temporaneamente materiali o prodotti. Sono molto utilizzati nella produzione alimentare. Nella Figura 13 e 14 sono presenti due esempi di buffer di accumulo verticale e orizzontale.



Figura 13- Nastro trasportatore verticale (A.B.M.)



Figura 14- Nastro trasportatore rotante (Urbinati srl)

- e. Buffer a ganci aereo: questa tipologia di buffer è usata principalmente nella produzione automobilistica. I prodotti vengono appesi tramite ganci (Figura 15) che trasportano i semilavorati da una stazione a un'altra.



Figura 15- Buffer ganci (Fratelli Giacomel)

Buffer Allocation Problem

Il Buffer Allocation Problem è un argomento molto esteso e molto discusso tuttora con più 40 testi pubblicati con l'obiettivo di discutere e analizzare differenti metodi risolutivi legati a questa tematica.

Il problema principale consiste nel ricavare il numero di buffer presenti all'interno di una linea e di definirne la capacità ottimizzandoli in modo da garantire la massima efficienza e la produzione giornaliera precedentemente calcolata. Essendo il buffer anche un costoso investimento infrastrutturale per le aziende, i differenti metodi di dimensionamento (che vedremo nei paragrafi successivi) hanno l'obiettivo di rendere le aree di stoccaggio il più piccole possibile e con costi più ridotti.

Tra i molti elaborati vengono ampiamente discussi differenti metodi che si basano sull'ipotesi fondamentale di considerare, all'interno dello studio, una linea di tipo *Unreliable lines* (linee inaffidabili).

Le linee inaffidabili sono composte da macchinari soggetti a guasti e inefficienza che interrompono il processo di produzione fino alla loro riparazione portando ovviamente a inefficienze a livello produttivo.

Metodi di dimensionamento del buffer

Il buffer è un luogo di stoccaggio che, come detto nei paragrafi precedenti, interviene in situazioni di interruzione del lavoro di una stazione lungo la linea produttiva, dove non dovrà essere né eccessivamente pieno né vuoto, evento che costringerebbe l'intera catena produttiva ad arrestarsi. In questi casi il deposito, se adeguatamente dimensionato, rende le stazioni indipendenti l'una dall'altra, assicurandosi il continuo procedere delle lavorazioni negli stadi precedenti e seguenti a quelli del guasto, prelevando e accumulando pezzi di semilavorato nel luogo di raccolta. Una mancata indipendenza tra gli stadi potrebbe portare a fenomeni di blocking e starving (approfonditi nel Capitolo 1). Per questi motivi il dimensionamento dei buffer è un problema di ottimizzazione importante e complesso. I punti di stoccaggio vengono utilizzati soprattutto nelle linee di produzione asincrone per compensare tempi di inattività dovuti a possibili manutenzioni ordinarie o straordinarie oppure guasti di breve durata che possono causare perdite di velocità nel processo produttivo. Il dimensionamento di un buffer ne calcola la capienza che deve essere pari alle necessità della produzione di una linea presa in considerazione, ovvero una dimensione sufficiente da poter sopportare una oscillazione compresa tra il livello di riempimento massimo raggiungibile e il livello minimo.

I metodi di dimensionamento principali possono essere suddivisi in tre principali categorie:

- *Explicit solutions method* (Soluzioni esplicite)
- *Iterative optimization method* (Metodi di ottimizzazione iterativi)
- *Simulation* (Metodi di simulazione)

Explicit solutions method (Soluzioni esplicite)

Secondo gli autori Sophie Weiss e Justus Arne Schwarz nell'articolo: The Buffer Allocation Problem in production lines (2018) questa categoria di metodi stabilisce l'utilizzo di formule o regole che descrivono le proposte di allocazione di un buffer secondo dei parametri definiti precedentemente, ottenendo come risultato la posizione e la capacità del buffer ottimizzato. Questi metodi possono dividersi in tre tipologie:

- *Exact analytical method* (metodi analiticamente esatti): questi metodi si basano su un dato "esatto" di potenzialità di produzione e attraverso l'uso di formule esplicite, si ottiene la capacità del buffer; un esempio è il metodo del serbatoio.
- *Analytical methods based on approximate performance evaluations* (metodi analitici che si basano su una valutazione approssimativa): si utilizzano dei modelli di regressione per approssimare una soluzione rimuovendo quelle che possono essere delle ipotesi troppo restrittive del metodo precedente.
- *Methods based on an investigation of optimal solution characteristics* (metodi basati sullo studio delle caratteristiche ottimali della linea): si dimensiona una linea di produzione simile al caso ottimale.

Il lavoro di Battini et al. (2019) introduce un nuovo modello di progettazione della capacità del buffer che dipende dai valori di mean time to repair (MTTR) e affidabilità degli stadi considerati. La formula sperimentale è la seguente:

$$\text{Buffer Capacity} = k(P; R) \cdot G \cdot Q_{max}$$

Dove:

Q_{max} = massima capacità produttiva tra stadio a monte a e stadio a valle b

$G = \max MTTR = \max(MTTR_a; MTTR_b)$

$k(P; R)$ = Fattore che dipende da P e R

I due parametri di decisione P e R sono definiti per ogni serie di input in ingresso come segue:

$$P = \frac{A_a}{A_b}$$

$$R = \frac{MTTR_a}{MTTR_b}$$

Successivamente attraverso la tabella in figura 16 è possibile calcolare il parametro k.

		$P = A_a/A_b$		
		$0,93 < P < 0,98$	$0,98 \leq P \leq 1,03$	$1,03 < P < 1,08$
$R = MTTR_a / MTTR_b$	0,00	K=1		
	0,08	K=1,1	K=1,1	K=1,1
	0,20	K=1,2	K=1,2	K=1,1
	0,30	K=1,4	K=1,3	K=1,2
	0,80	K=1,8	K=1,8	K=1,6
	0,90	K=1,1	K=1,1	K=1,1
	1,10	K=1,8	K=1,8	K=1,7
	2,00	K=1,8	K=1,2	K=1,7
	2,50	K=1,2	K=1,1	K=1,1
	6,00	K=1		

Figura 16- Matrice sperimentale del coefficiente di sicurezza

Metodo del serbatoio

È un metodo analiticamente esatto appartenente alle tipologie di metodi a soluzioni esplicite trattati nel paragrafo precedente.

Secondo il metodo la dimensione finale del buffer che deve essere garantita sarà data dall'andamento del buffer cumulato nell'arco di un periodo lavorativo, ad esempio un giorno lavorativo di 8 ore, in cui saranno analizzate le oscillazioni che il buffer può subire. Tali oscillazioni si determinano grazie a una simulazione del comportamento dei macchinari a valle e a monte del deposito. Il metodo è considerato empirico in quanto la modifica della tabella oraria cambia il risultato finale non fornendo quindi un valore finale ottimale.

Per poter utilizzare il metodo del serbatoio è necessario innanzitutto identificare due stadi S1 ed S2, il primo antecedente al buffer e il secondo successivo. Per poter proseguire con il metodo è importante calcolare due valori:

- Q_{in} la quantità entrante nel buffer prodotta dallo stadio S1
- Q_{out} la quantità uscente dal buffer entrante nello stadio S2

Per poter ricavare tali valori possiamo utilizzare le seguenti formule:

$$Q_{in} = Q_{S1}(K_2 \times K_3 \times K_4)_{S1} \left[\frac{pz}{h} \right]$$
$$Q_{out} = Q_{S2} \left[\frac{pz}{h} \right]$$

È possibile ricavare anche le ore di lavorazione di entrambi gli stadi in modo da poter studiare i flussi entranti e uscenti di materiali.

$$t_{S1} = (\text{ore di lavoro giornaliera})(K_2 \times K_3 \times K_4)_{S1} \text{ [h]}$$
$$t_{S2} = (\text{ore di lavoro giornaliera})(K_2 \times K_3 \times K_4)_{S2} \text{ [h]}$$

Una volta ottenuti questi valori si procede al calcolo delle Q_{in} e Q_{out} accumulate, sommando ogni valore come la somma dei valori precedenti. Otterremo quindi le quantità: $Q_{in,cum}$ e $Q_{out,cum}$ per ogni intervallo di tempo.

Per tutti gli intervalli verrà quindi calcolata la differenza tra i due valori accumulati ottenendo:

$$\Delta = Q_{in,cum,i} - Q_{out,cum,i} \text{ [pz]}$$

Successivamente possiamo determinare la dimensione del buffer sommando il valore maggiore e il minore dal calcolo precedente ed inserendoli nella seguente formula:

$$BUFFER = (|\Delta^+_{max}| + |\Delta^-_{max}|)(1 + k) [pz]$$

Dove:

- k indica il coefficiente di sicurezza
- Δ^+_{max} Il surplus di pezzi è dato dal macchinario a monte che produce una quantità di semilavorato in uscita maggiore di quanto il macchinario a valle possa elaborare in ingresso.
- Δ^-_{max} è Il deficit di pezzi, ovvero il minimo valore che deve garantire il buffer per poter garantire la continua produzione del macchinario a valle che elabora una quantità superiore in entrata rispetto a quella in uscita del macchinario a monte.

Flussi di materiale all'interno di un buffer

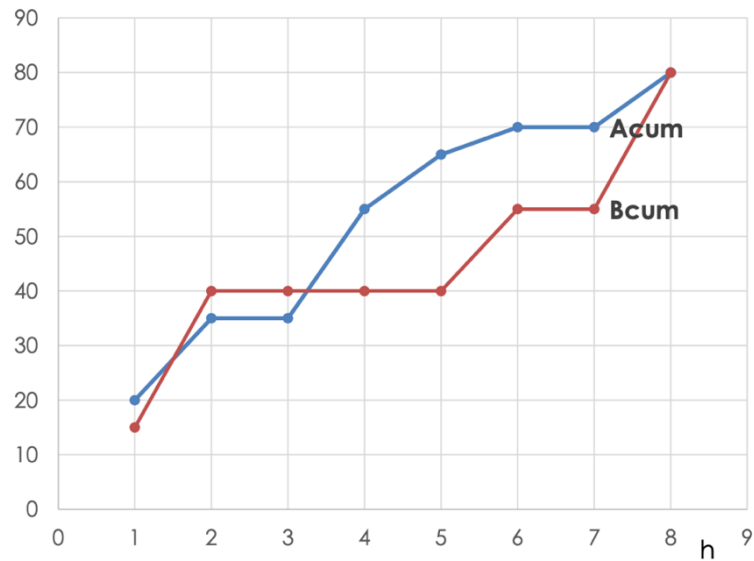


Figura 18- Metodo del serbatoio

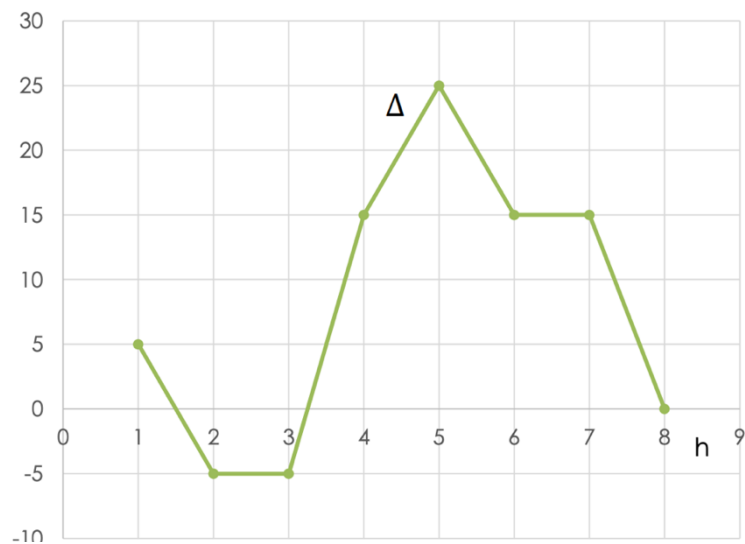


Figura 17-Grafico del Metodo del serbatoio

Questi grafici rappresentano l'andamento di un buffer secondo il Metodo del serbatoio. Nella Figura 17 è possibile vedere l'andamento dei pezzi tramite il calcolo accumulato delle quantità uscenti e entranti dal reparto a monte e quello a valle. Il secondo grafico, in Figura 18, rappresenta invece la differenza tra i pezzi entranti accumulati e i pezzi uscenti accumulati durante le ore della giornata lavorativa. È possibile notare che in entrambe le Figure (17 e 18) all'ottava ora il valore finale raggiunge lo stesso valore nel primo grafico e il valore 0 nel secondo.

È importante notare che il livello di riempimento o per quanto tempo il buffer è vuoto non abbia alcuna rilevanza nel calcolo finale, in quanto ciò che conta è solo la massima oscillazione.

Il funzionamento del buffer prevede che la stazione a monte del buffer accumuli pezzi in esso e la stazione a valle ne prelevi. I due comportamenti delle stazioni sono rappresentabili dai seguenti grafici:

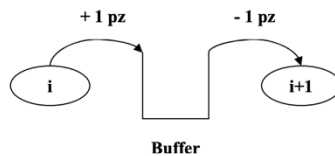


Fig. n.5.3.1:
Rappresentazione grafica

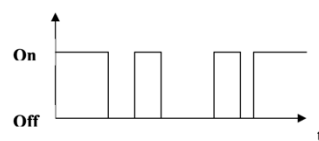


Fig. n.5.3.2:
Comportamento operatore i a monte del buffer

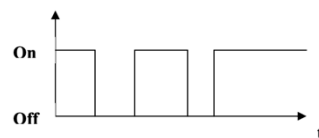


Fig. n.5.3.3:
Comportamento operatore i + 1 a valle del buffer

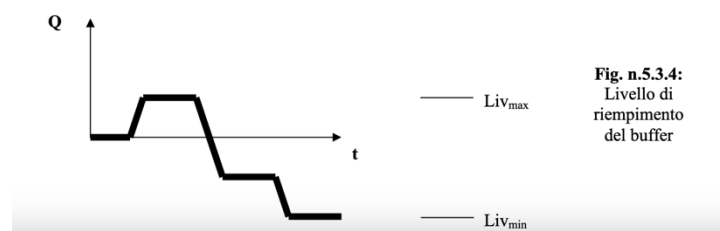


Fig. n.5.3.4:
Livello di riempimento del buffer

Figura 19- Flussi dei materiali all'interno del Buffer

L'ultimo grafico, Figura 19, è quello da cui si ricava la dimensione corretta del buffer e si ottiene dalla sovrapposizione dell'andamento di materiale dagli stadi a monte e a valle del deposito.

Un buffer efficiente dovrà essere dinamico e flessibile. La sua dimensione non dovrà solo considerare i prodotti stoccati internamente ma agevolare anche i cicli operativi in entrata e in uscita della merce affinché siano rapidi e tempestivi.

Metodi di ottimizzazione iterativi

Questi metodi si basano sull'utilizzo di formulazioni e valutazioni delle prestazioni basate sul campionamento dei risultati generati tramite dei programmi. La generazione di tali

valori campione viene creata in modo iterativo testando le diverse allocazioni del buffer. Viene poi svolta la valutazione di tali allocazioni fino ad ottenere una valutazione ottimale.

Metodi di simulazione

I metodi di simulazione sono utilizzati con software simulativi come Flexsim, introdotto e spiegato nel Capitolo 3.

La simulazione è attuata principalmente quando il sistema reale preso in analisi non esiste ancora concretamente e deve essere quindi progettato e successivamente testato o verificato. Nel caso in cui una sperimentazione diretta del risultato del progetto o del dimensionamento non sia possibile in quanto richiede un'alta quantità di tempo e costi e che potrebbe anche rilevarsi molto ingombrante e quindi porre effetti negativi sull'ambiente circostante, la simulazione risulta uno strumento efficace per verificare le proprietà di un sistema di produzione, ad esempio, oppure l'andamento dei materiali all'interno di una linea produttiva.

Nelle discipline scientifiche la simulazione è: "ogni procedimento atto a studiare il comportamento di un sistema in determinate condizioni che si basi sulla riproduzione del sistema o dell'ambiente in cui esso deve operare attraverso modelli (siano essi meccanici, analogici, numerici, matematici o altro)".

L'imitazione di un progetto tramite modello è quindi essenziale quando si tratta di dedurre le caratteristiche di un sistema come i suoi vantaggi e svantaggi ed eventuali errori o possibili malfunzionamenti inseribili all'interno del progetto tramite il software. Durante la sperimentazione tramite computer, la simulazione concede anche di modificare e cambiare molti parametri migliorando quindi la sperimentazione e rendendo istantanee le modifiche su un modello.

Un ultimo aspetto significativo e svantaggioso è che la simulazione, nonostante offra grandi prestazioni, fornisce risultati basati sulle stime delle vere prestazioni e delle indicazioni statistiche sul comportamento del sistema, senza restituire, quindi una soluzione reale al progetto in analisi; in più nel caso di sistemi altamente complessi i tempi di calcolo potrebbero rilevarsi elevati.

Capitolo 3 Caso studio

Descrizione caso studio

In questo capitolo si vedrà un caso applicativo di un buffer inter-operazionale tra due macchinari in un impianto di produzione in linea.

Iniziando da un'analisi del caso a monte andremo a considerare due linee parallele e dedicate ai singoli prodotti:

- LineaA001
- LineaB002

Le due linee sono asincrone e si dovranno quindi utilizzare le formule descritte nel Capitolo 2 per poter calcolare le potenzialità di ogni singolo stadio: ciascuna linea è composta da cinque stadi.

I due processi di produzione, infine, convergono in un buffer la cui dimensione verrà successivamente analizzata rispetto ai risultati ottenuti dal dimensionamento delle due catene produttive, come mostrato nella Figura 20.

In questo caso studio il buffer servirà da deposito di prodotti finiti. Con l'utilizzo del buffer l'azienda, una volta ricevuto l'ordine, potrà rispondere alla domanda del cliente nell'immediato ultimando solamente la verniciatura e l'imballaggio e rendendo i tempi di attesa molto brevi.

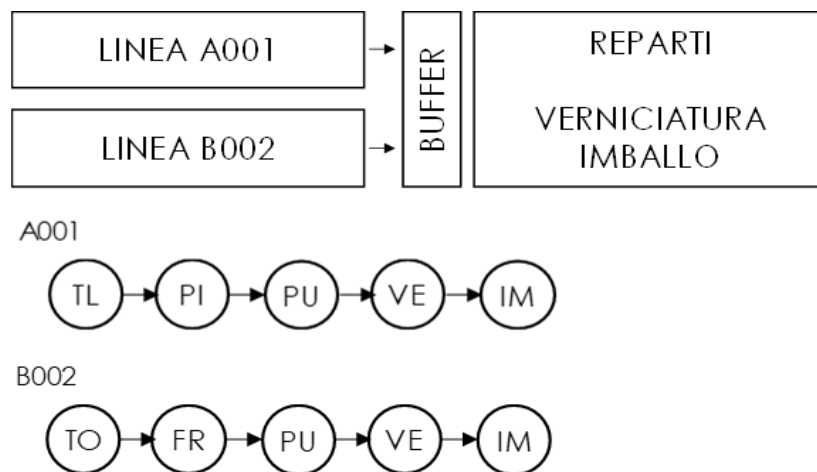


Figura 20- Rappresentazione Grafica del caso studio

Dati iniziali

Visionando i dati che andremo ad utilizzare durante il caso studio nella Tabella 1 è possibile ricavare alcune affermazioni. Innanzitutto, è necessario visionare la potenzialità delle linee Q_u la cui somma è pari a 1000 pezzi. Dato fondamentale che servirà per dimensionare i due reparti finali. Osservando anche che la linea asincrona B002 ha una potenzialità di linea giornaliera maggiore di 200 pezzi rispetto alla linea A001 è ipotizzabile che i valori più alti per i parametri di potenzialità di stadio e del numero di macchinari apparterranno alla Linea B002.

Un altro dato fondamentale durante il dimensionamento sono i valori dei coefficienti di sicurezza. Partendo dalla prima categoria, ovvero il K_1 (valore percentuale rappresentante lo scarto di ogni stadio produttivo) è possibile affermare che le percentuali sono tra di loro molto simili per tutti gli stadi ed in entrambe le linee, con l'unica eccezione del reparto verniciatura che presenta un valore del 96%. Anche nel caso del coefficiente K_2 (coefficiente di disponibilità) è possibile affermare che i valori percentuali sono tra di loro simili. Una differenza invece è possibile notarla per i coefficienti K_3 e K_4 dove vi è una netta differenza tra le percentuali proprie delle linee asincrone e dei due reparti. Per il coefficiente K_3 (valore percentuale riguardante l'efficienza dei lavoratori) il valore appartenente alle due linee è pari al 100% mentre per i reparti al 60%. Ciò è dato dal fatto che le due linee sono automatizzate e di conseguenza non sono influenzate da errori umani da parte dei lavoratori o dalla loro efficienza, cosa che non è valida per i reparti che basano il loro funzionamento anche sul lavoro umano. È possibile porre simili conclusioni anche per il coefficiente K_4 (valore percentuale di utilizzo del macchinario), dove per i macchinari lungo le linee asincrone esso è pari al 95% mentre per i reparti al 60%. Anche in questo la differenza percentuale è associabile alla relazione degli stadi con i lavoratori umani.

È possibile ora discutere anche sui tempi di lavorazione dei pezzi: per quanto riguarda le linee asincrone i tempi di lavorazione della linea A001 sono maggiori rispetto a quelli della B002, situazione però che si capovolge nei reparti dove i Prodotti A001 hanno tempistiche inferiori.

Tabella 1- Dati iniziali caso studio

DATI	DATI2	TL	PI	PU	TO	FR	PU3	VE	IM
Coeff. Di Sicurezza	p	0,01	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,01
	K1	0,99	0,97	0,98	0,99	0,99	0,98	0,96	0,99
	K2	0,97	0,98	0,99	0,98	0,96	0,99	0,97	0,98
	K3	1	1	1	1	1	1	0,85	0,85
	K4	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,6	0,6
MATRICE t_{ij} [min/pz]	Prodotto A001	1,6	1,1	0,8				0,1	0,5
	Prodotto B002				1,4	0,85	0,9	0,2	0,6
N_{ij}	h/g	8							
QuA	pz/g	400							
QuB	pz/g	600							

Dimensionamento delle linee asincrone

La prima fase di questo studio tratta del dimensionamento delle due linee parallele e dei reparti; si andrà quindi a leggere i dati fondamentali, discussi nel paragrafo precedente:

- Potenzialità di Linea Q_u
- Coefficienti di sicurezza

Le potenzialità di linea sono pari a 400 pezzi/giorno per la linea A001 e 600 pezzi/giorno per la linea B002; inoltre, un giorno lavorativo è composto da 8 ore. Bisogna quindi specificare che $N_{ij} = 8 h/gg$. I coefficienti di sicurezza invece sono contenuti nella Tabella 1.

Una volta definiti i valori possiamo iniziare a sviluppare il dimensionamento dei Reparti finali: imballaggio e verniciatura che andranno a lavorare i due prodotti A001 e B002 simultaneamente. Utilizzando le formule trattate nei capitoli precedenti:

$$Q_{im,A001} = \frac{Q_{u,A001}}{\eta_{im}} = 808,404 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{im,B002} = \frac{Q_{u,B002}}{\eta_{im}} = 1212,61 \text{ pezzi/giorno}$$

Per il singolo reparto andremo quindi a calcolare i seguenti parametri:

- numero ideale di macchinari per reparto per i due prodotti, tra loro sommati, M'_{ij}
- numero reale di macchinari per reparto M_j
- coefficienti di utilizzo teorico per reparto U'_j
- coefficienti di utilizzo reale per reparto U_j

$$M'_{im} = 2,3578$$

$$M_{im} = 3$$

$$U_{t,im} = 79\%$$

$$U_{r,im} = 47\%$$

Secondo i precedenti valori ricavati possiamo esporre alcune considerazioni fondamentali: i valori percentuali di utilizzo nel caso ideale sono sufficientemente elevati, anche se non estremamente alti, mentre in quello reale sono inferiori al 50%, calo probabilmente dovuto a un leggero sovradimensionamento del reparto e ad un valore del coefficiente K_4 basso.

Il dimensionamento del reparto di verniciatura avverrà con le stesse modalità; andremo quindi a ricavare i valori:

$$Q_{ve,A001} = \frac{Q_{u,A001}/(K_{1,im})}{\eta_{ve}} = 850,77 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{ve,B002} = \frac{Q_{u,B002}/(K_{1,im})}{\eta_{ve}} = 1276,15 \text{ pezzi/giorno}$$

Andremo a calcolare gli stessi parametri ricavati precedentemente:

$$M'_{ve} = 0,7090$$

$$M_{ve} = 1$$

$$U_{t,ve} = 71\%$$

$$U_{r,ve} = 43\%$$

Come possiamo vedere anche nel reparto di verniciatura vi è un valore sufficientemente alto per il caso ideale, e leggermente più alto rispetto al reparto imballaggi, mentre il coefficiente di utilizzo reale è inferiore al 50%.

Concluso con il dimensionamento dei reparti successivi al buffer inter-operazionale, possiamo dimensionare le due linee produttive asincrone.

i. Linea A001

Dato il valore: $Q_u = 400$ pezzi/giorno che rappresenta la quantità produttiva giornaliera che la linea deve produrre per il prodotto A001, possiamo andare a calcolare i pezzi uscenti dei singoli stadi:

$$Q_{pu,A001} = \frac{Q_{u,A001}/(K_{1,im} \times K_{1,ve})}{\eta_{pu}} = 456,64 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{pi,A001} = \frac{Q_{u,A001}/(K_{1,im} \times K_{1,ve} \times K_{1,pu})}{\eta_{pi}} = 475,56 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{tl,A001} = \frac{Q_{u,A001}/(K_{1,im} \times K_{1,ve} \times K_{1,pu} \times K_{1,tl})}{\eta_{tl}} = 485,32 \text{ pezzi/giorno}$$

Utilizzando la matrice dei tempi di produzione per il singolo pezzo della linea A001 (Tabella 1), possiamo calcolare i parametri di:

- potenzialità di saturazione
- numero ideale di macchine per stadio
- numero reale di macchine per stadio
- coefficiente di utilizzo teorico e reale dello stadio

I parametri calcolati sono rappresentati nelle tabelle successive:

Tabella 2- Coefficienti numero macchinari

	TL	PI	PU
Numero macchinari ideali	1,62	1,09	0,76
Numero macchinari reale	2,00	2,00	1,00

Tabella 3- Coefficienti di utilizzo degli stadi

	TL	PI	PU
Coefficienti di utilizzo ideali	80,89%	54,49%	76,11%
Coefficienti di utilizzo reali	76,84%	51,77%	72,30%

Tabella 4- Coefficienti utilizzo della linea

Coefficiente di utilizzo reale di linea	69,4%
Coefficiente di utilizzo ideale di linea	65,9%

Andando ad analizzare i dati notiamo che i valori dei coefficienti di utilizzo della linea asincrona nella Tabella 3 sono in generale buoni e tra il 60% e 80%, mentre quelli di utilizzo reale, anche se inferiori ai precedenti, sono elevati per gli stadi TL, PU e sopra il 50% per gli stadi restanti (Tabella 4), tra cui quelli di verniciatura e Immagazzinamento. Infine, possiamo valutare anche i coefficienti di linea, che sono sufficientemente elevati da poter escludere un sovra-dimensionamento.

ii. Linea B002

Come per la linea precedente andiamo a valutare il valore $Q_u = 600$ pezzi/giorno di uscita dei reparti. Possiamo calcolare il numero di pezzi che è necessario produrre per ogni stadio:

$$Q_{pu,B002} = \frac{Q_{u,B002}/(K_{1,im} \times K_{1,ve})}{\eta_{pu}} = 684,95 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{fr,B002} = \frac{Q_{u,B002}/(K_{1,im} \times K_{1,ve} \times K_{1,pu})}{\eta_{pi}} = 713,49 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{to,B002} = \frac{Q_{u,B002}/(K_{1,im} \times K_{1,ve} \times K_{1,pu} \times K_{1,tl})}{\eta_{tl}} = 705,99 \text{ pezzi/giorno}$$

Come nel caso della linea A001 possiamo ricavare i valori e i coefficienti fondamentali elencati nel paragrafo precedente data la matrice dei tempi di produzione della linea B002 (Tabella 1):

Tabella 5- Coefficienti numero dei macchinari

	TO	FR	PU
Numero macchinari ideali	2,06	1,26	1,28
Numero macchinari reale	3,00	2,00	2,00

Tabella 6- Coefficienti di Utilizzo per stadio

	TO	FR	PU
Coefficienti di utilizzo ideali	68,64%	63,17%	64,21%
Coefficienti di utilizzo reali	65,21%	60,02%	61,00%

Tabella 7- Coefficienti di utilizzo di linea

Coefficiente di utilizzo reale di linea	65,8%
Coefficiente di utilizzo ideale di linea	62,5%

Possiamo svolgere alcune considerazioni sui dati ricavati: innanzitutto i coefficienti di utilizzo degli stadi (Tabella 6) sono distribuiti in modo molto simile a quelli della linea A001 e appare subito evidente che lo stadio con le percentuali migliori sia il TO mentre quello con percentuali basse ma comunque sufficientemente buone è l'FR. Notiamo però che vi è molta differenza tra il numero ideale delle macchine e il numero reale (Tabella 5), cosa che può essere sintomo di un leggero sovradimensionamento. In generale anche i valori di linea (Tabella 7) sono alti e simili a quelli della linea precedente, mostrando un equilibrio nel dimensionamento delle due linee parallele.

Possiamo riassumere i valori ricavati nella Tabella 9 delle due linee di prodotto in un'unica tabella, contenete i valori commentati precedentemente.

Tabella 8- Coefficienti ricavati dal Caso Studio

		Prodotto A			Prodotto B			Prodotto A e B	
		TL	PI	PU	TO	FR	PU	VE	IM
Calcolo potenzialità Qij	Prodotto A001	485,32	475,56	456,63				850,77	808,40
	Prodotto B002				705,99	713,49	684,95	1276,15	1212,61
Calcolo macchinari nj,Mij	Prodotto A001	1,62	1,09	0,76				0,18	0,84
	Prodotto B002				2,06	1,26	1,28	0,53	1,52
	M'j	1,62	1,09	0,76	2,06	1,26	1,28	0,71	2,36
	Mj	2	2	1	3	2	2	1	3
Calcolo coefficienti	utj	80,89%	54,49%	76,11%	68,64%	63,17%	64,21%	70,90%	78,59%
	urj	76,84%	51,77%	72,30%	65,21%	60,02%	61,00%	42,54%	47,16%
	utj	69,4%			65,8%				
	Urj	65,9%			62,5%				

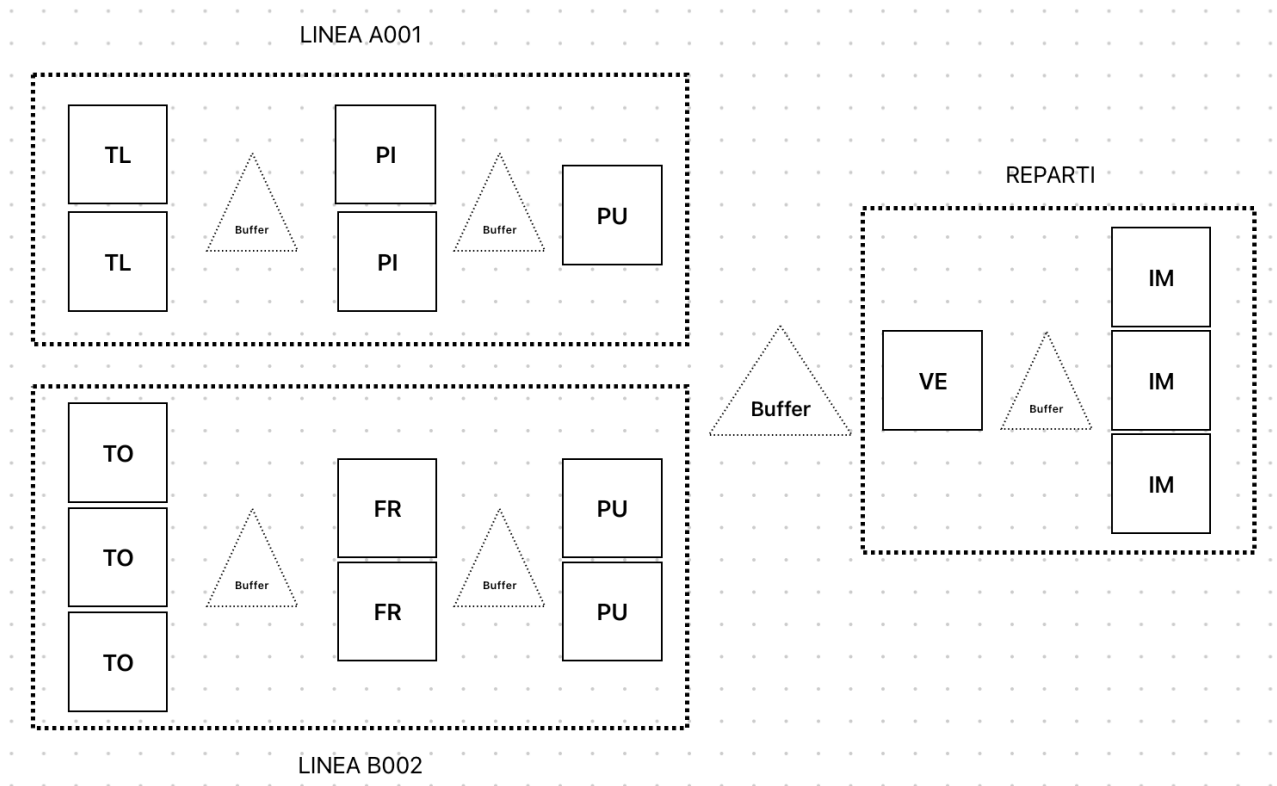


Figura 21- Rappresentazione schematica della disposizione dei macchinari

Calcolo dei parametri del dimensionamento del buffer.

Determiniamo ora i materiali entranti nel buffer e quelli uscenti. Per attuare il dimensionamento, utilizziamo le seguenti formule:

$$Q_{in} = Q_{u,A001} \times (K_2 \times K_3 \times K_4)pu = 429,46 \text{ pezzi/giorno}$$

$$Q_{in} = Q_{u,B002} \times (K_2 \times K_3 \times K_4)pu = 644,20 \text{ pezzi/giorno}$$

Calcoliamo ora le ore di lavorazione dagli stadi in entrata e in uscita:

$$t_{pu} = 8 \times (K_2 \times K_3 \times K_4)pu = 7,52 \text{ h}$$

$$t_{ve} = 8 \times (K_2 \times K_3 \times K_4)ve = 3,958 \text{ h}$$

Calcoliamo infine la velocità d'immissione:

$$q_{A001,pu} = \frac{Q_{pu,A001}}{t_{pu,A001}} = 57,08 \left[\frac{pz}{h} \right]$$

$$q_{B002,pu} = \frac{Q_{pu,B002}}{t_{pu,B002}} = 85,62 \left[\frac{pz}{h} \right]$$

$$q_{A001,ve} = \frac{Q_{ve,A001}}{t_{ve,A001}} = 108,52 \left[\frac{pz}{h} \right]$$

$$q_{B002,ve} = \frac{Q_{ve,B002}}{t_{ve,B002}} = 162,77 \left[\frac{pz}{h} \right]$$

Dimensionamento del buffer

Successivamente al calcolo dei parametri fondamentali per il dimensionamento del buffer possiamo utilizzare il Metodo del Serbatoio per ricavare la grandezza del nostro magazzino ovvero il numero di prodotti che dovrà essere in grado di stoccare al suo interno.

Il metodo del serbatoio, spiegato nel capitolo precedente, è basato su una tabella oraria, che mostra le ore di lavoro dei singoli stadi prima e dopo il buffer, e su i coefficienti di entrata e di uscita necessari per il calcolo delle colonne cumulative.

Una volta calcolata la grandezza del buffer andremo ad applicare anche un valore K come coefficiente di sicurezza pari a: $K = 10\%$.

Tabella 9-Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 1

ORE	PU	VE	QIN A001	QIN B002	Qout A001	Qout B002	Qacc A001	Qacc, B002	Qacc,t ot	Qacc A001	Qacc B002	Qacc, tot	Δ	BUFFER
1	1	0	57,079	85,61	0	0	57,08	85,62	142,70	0,00	0,00	0,00	142,70	627,87
2	1	0	57,079	85,61	0	0	114,16	171,24	285,40	0,00	0,00	0,00	285,40	
3	1	1	57,0793	85,61	108,51	162,77	171,24	256,86	428,09	108,52	162,77	271,29	156,80	
4	0,524	1	29,90	44,86	108,51	162,77	201,15	301,72	502,87	217,03	325,55	542,58	-39,71	
5	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	258,23	387,34	645,57	325,55	488,32	813,87	-168,31	
6	1	0,958	57,07	85,61	103,91	155,87	315,31	472,96	788,27	429,46	644,20	1073,66	-285,40	
7	1	0	57,07	85,61	0	0	372,39	558,58	930,96	429,46	644,20	1073,66	-142,70	
8	1	0	57,07	85,61	0	0	429,46	644,20	1073,66	429,46	644,20	1073,66	0,00	
			7,524	3,9576	429,465	644,197	429,465	644,197						

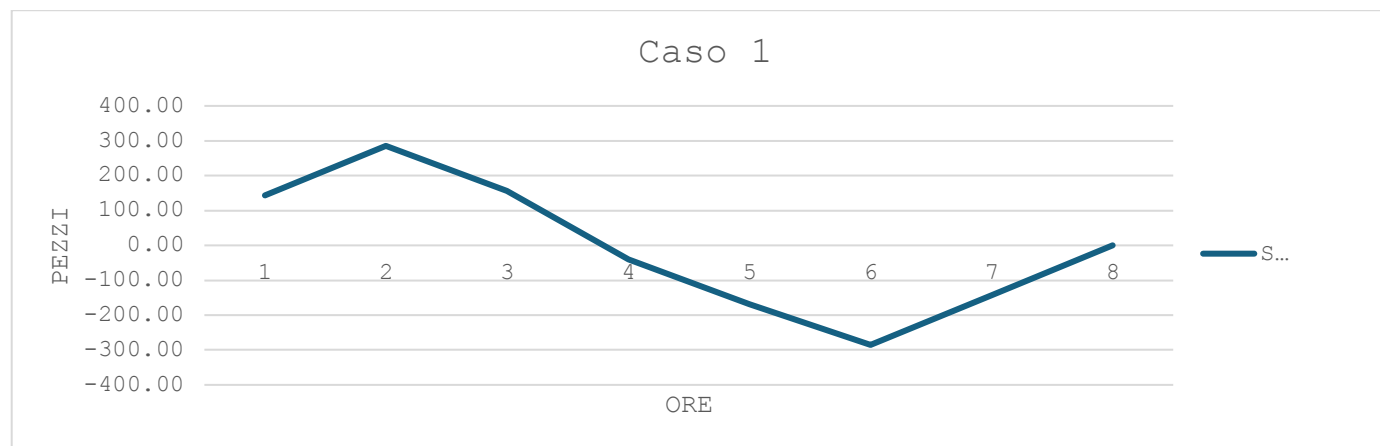


Figura 22- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 1

Tabella 10-Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 2

ORE	PU	VE	QIN A001	QIN B002	Qout A001	Qout B002	Qacc A001	Qacc, B002	Qacc,t ot	Qacc A001	Qacc B002	Qacc, tot	Δ	BUFFER
1	0,524	0	29,90	44,86	0	0	29,91	44,86	74,77	0,00	0,00	0,00	74,77	424,36
2	1	0	57,07	85,61	0	0	86,99	130,48	217,47	0,00	0,00	0,00	217,47	
3	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	144,07	216,10	360,17	108,52	162,77	271,29	88,88	
4	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	201,15	301,72	502,87	217,03	325,55	542,58	-39,71	
5	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	258,23	387,34	645,57	325,55	488,32	813,87	-168,31	
6	1	0	57,07	85,61	0	0	315,31	472,96	788,27	325,55	488,32	813,87	-25,61	
7	1	0	57,07	85,61	0	0	372,39	558,58	930,96	325,55	488,32	813,87	117,09	
8	1	0,9576	57,07	85,61	103,91	155,87	429,46	644,20	1073,66	429,46	644,20	1073,66	0,00	
7,524		3,9576	429,465	644,197	429,465	644,197								

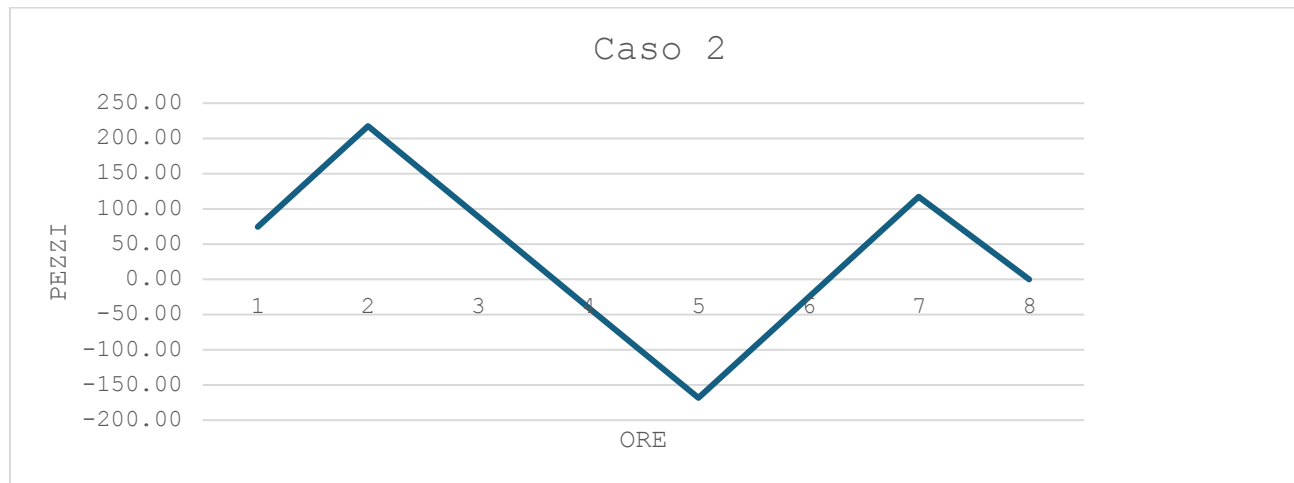


Figura 23- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 2

Tabella 11- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 3

ORE	PU	VE	QIN A001	QIN B002	Qout A001	Qout B002	Qacc A001	Qacc, B002	Qacc, tot	Qacc A001	Qacc B002	Qacc, tot	Δ	BUFFE R
1	1	0	57,079	85,61	0	0	57,08	85,62	142,70	0,00	0,00	0,00	142,70	424,36
2	1	0	57,079	85,61	0	0	114,16	171,24	285,40	0,00	0,00	0,00	285,40	
3	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	171,24	256,86	428,09	108,52	162,77	271,29	156,80	
4	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	228,32	342,48	570,79	217,03	325,55	542,58	28,21	
5	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	285,40	428,09	713,49	325,55	488,32	813,87	-100,38	
6	1	0	57,079	85,61	0	0	342,48	513,71	856,19	325,55	488,32	813,87	42,32	
7	1	0	57,079	85,61	0	0	399,56	599,33	998,89	325,55	488,32	813,87	185,01	
8	0,524	0,9576	29,90	44,86	103,91	155,87	429,46	644,20	1073,6 6	429,46	644,20	6	0,00	
	7,524	3,9576	429,465	644,197	429,465	644,197								

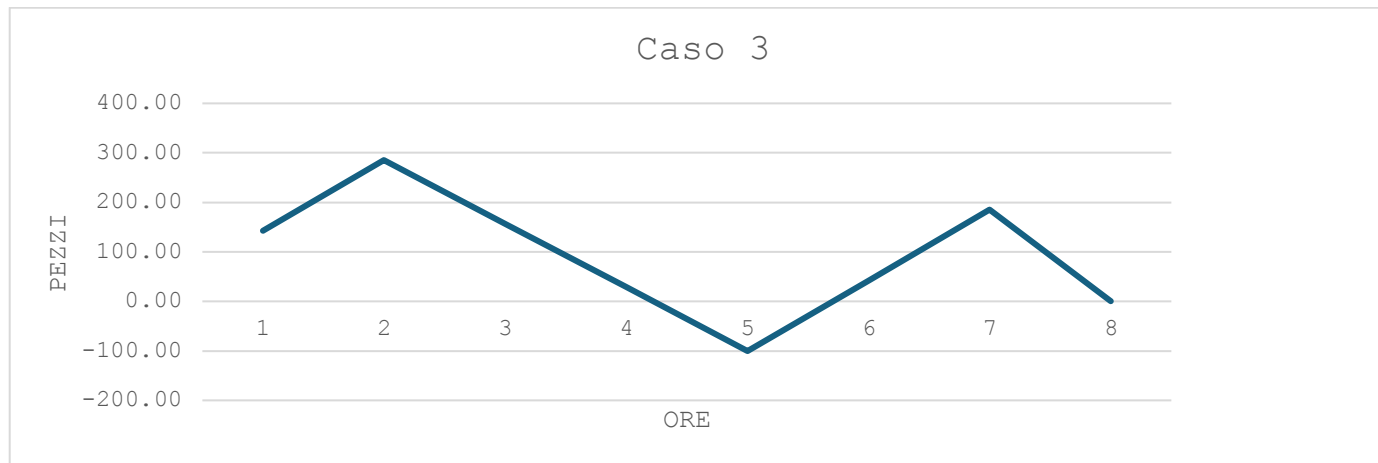


Figura 24- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 3

Tabella 12- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 4

ORE	PU	VE	QIN A001	QIN B002	Qout A001	Qout B002	Qacc A001	Qacc, B002	Qacc,tot	Qacc A001	Qacc B002	Qacc, tot	Δ	BUFFER
1	0,524	0	29,90	44,86	0	0	29,91	44,86	74,77	0,00	0,00	0,00	74,77	553,16
2	1	0	57,079	85,61	0	0	86,99	130,48	217,47	0,00	0,00	0,00	217,47	
3	1	0	57,079	85,61	0	0	144,07	216,10	360,17	0,00	0,00	0,00	360,17	
4	1	0	57,079	85,61	0	0	201,15	301,72	502,87	0,00	0,00	0,00	502,87	
5	1	0,9576	57,079	85,61	103,91	155,87	258,23	387,34	645,57	103,92	155,87	259,79	385,78	
6	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	315,31	472,96	788,27	212,43	318,65	531,08	257,19	
7	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	372,39	558,58	930,96	320,95	481,42	802,37	128,59	
8	1	1	57,079	85,61	108,51	162,77	429,46	644,20	1073,66	429,46	644,20	1073,66	0,00	
			7,524	3,9576	429,465	644,197	429,465	644,197						

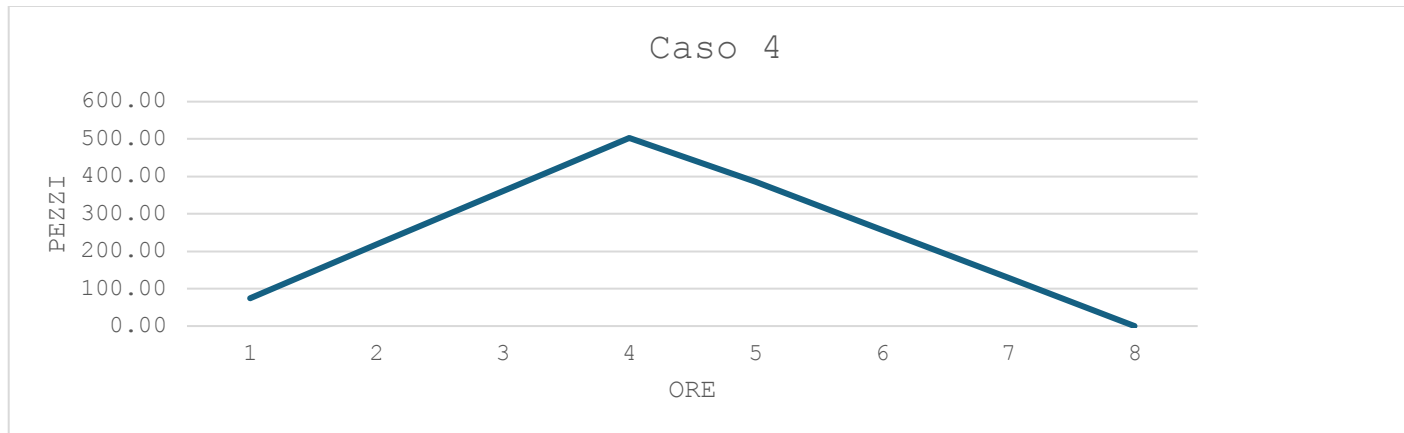


Figura 25- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 4

Tabella 13- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 5

ORE	PU	VE	QIN A001	QIN B002	Qout A001	Qout B002	Qacc A001	Qacc, B002	Qacc,t ot	Qacc A001	Qacc B002	Qacc, tot	Δ	BUFFER
1	1	0	57,07	85,61	0	0	57,08	85,62	142,70	0,00	0,00	0,00	142,70	627,87
2	1	0	57,07	85,61	0	0	114,16	171,24	285,40	0,00	0,00	0,00	285,40	
3	1	0	57,07	85,61	0	0	171,24	256,86	428,09	0,00	0,00	0,00	428,09	
4	1	0	57,07	85,61	0	0	228,32	342,48	570,79	0,00	0,00	0,00	570,79	
5	1	0,9576	57,07	85,61	103,91	155,87	285,40	428,09	713,49	103,92	155,87	259,79	453,70	
6	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	342,48	513,71	856,19	212,43	318,65	531,08	325,11	
7	1	1	57,07	85,61	108,51	162,77	399,56	599,33	998,89	320,95	481,42	802,37	196,52	
8	0,524	1	29,9	44,86	108,51	162,77	429,46	644,20	1073,66	429,46	644,20	1073,66	0,00	
			7,524	3,9576	429,465	644,197	429,465	644,197						

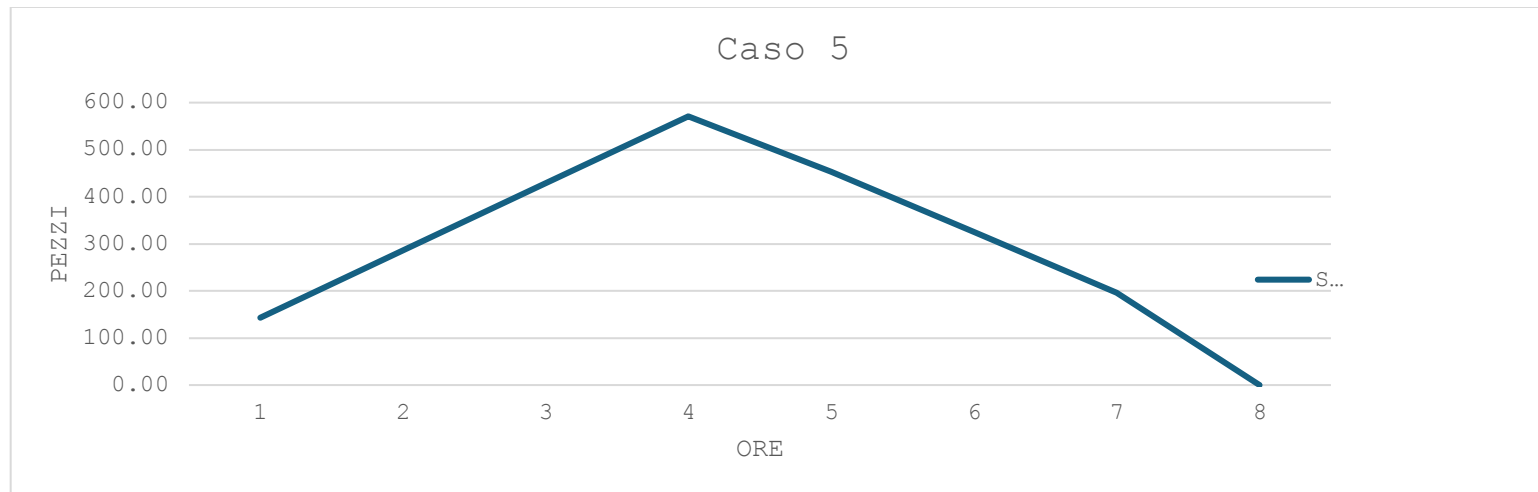


Figura 26- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 5

Successivamente aver analizzato differenti tipologie di distribuzione delle fasce orarie è possibile vedere nelle tabelle antecedenti che la fascia oraria è stata leggermente modificata nel caso degli stadi PU e VE ottenendo risultati differenti. Il valore di grandezza del buffer più alto è pari a 627,87 è presente in due casi (il primo e l'ultimo: Tabella 9 e Tabella 13), nonostante i due grafici siano basati su due andamenti molto differenti tra loro. La somiglianza tra due flussi in differenti casi si può notare tra il caso 4 e il caso 5 (Tabelle 12 e 13) che raggiungono entrambi il picco di rispettivamente 502 pezzi e 570 pezzi nello stesso intervallo di tempo e tra il caso 2 e il caso 3 (Tabelle 11 e 12), che raggiungono anche picchi negativi e il cui andamento raggiunge lo stesso risultato: 424,36, il valore più basso ricavato da questo studio.

Il primo caso, infine, come si può notare, presenta una più alta variazione di flussi nell'arco della giornata lavorativa con un picco negativo e positivo di 285,40 pezzi.

Metodo di dimensionamento tramite simulazione

Introduzione al metodo di dimensionamento di buffer tramite simulazione

I metodi di dimensionamento tramite simulazione sono stati sviluppati con lo scopo di specificare la capacità del singolo buffer e inserire la diversa disponibilità delle macchine. La simulazione è attuata principalmente quando il sistema reale preso in analisi esiste, oppure deve essere progettato, ma deve essere verificato. Ovviamente una sperimentazione diretta sarebbe troppo costosa e lunga per un'azienda. Per queste ragioni per calcolare la capacità ottimale dei buffer è possibile utilizzare dei metodi (presentati nel Capitolo 2) che prevedono l'uso di software di simulazione come Flexsim.

Flexsim

Flexsim è un software di simulazione 3D sviluppato dalla Flexsim Software Products, Inc. con lo scopo di simulare e visualizzare un qualsiasi sistema di produzione manifatturiera, movimentazione di materiali, stoccaggio in magazzini, movimentazioni logistiche e aspetti di gestione del Layout interno.

Il software ci permette di creare delle simulazioni dinamiche e visualizzare i risultati, evidenziandone le criticità e la variabilità del sistema, e svolgendo soprattutto delle azioni di ottimizzazione del progetto preso in esame prima dell'implementazione nella vita reale con notevoli risparmi di costo e tempi.

Se prendiamo in caso alcuni possibili problemi rilevati nei capitoli precedenti possiamo ipotizzarne l'applicazione all'interno del software come:

- analisi dei tempi di attesa dei singoli prodotti all'interno di un buffer
- minimizzazione degli effetti negativi dovuti a micro-fermate o WIP
- ottimizzazione del buffer
- analisi di efficienza di un sistema o di una linea produttiva
- calcolo dei parametri di utilizzo e di guasto di un macchinario
- visualizzazione dei flussi di materiale

Nel modello 3D, all'interno del software Flexsim, il primo passo per la costruzione del modello è quello di semplificare e rappresentare la struttura di base.

Per simulare gli elementi di base possono essere facilmente aggiunti e definiti: macchinari di vario genere, magazzini, punti di stoccaggio e scaffalature.

Per il trasporto di materiale, il software permette di inserire differenti elementi come scaffalature, aree di ricevimento e smistamento, pallet, carrelli elevatori ed operatori al fine di rappresentare il progetto nel modo più realistico possibile.

Elementi di modellizzazione

Gli elementi fondamentali presenti all'interno del Software sono:

- Elementi di flusso (*Flow items*) ovvero oggetti che si muovono all'interno della simulazione da una stazione iniziale, a monte, a una finale.
- Risorse fisse (*Fixed resources*), sono oggetti che rimangono fermi e interagiscono con gli oggetti di flusso. Gli oggetti fissi possono svolgere diverse funzioni specifiche in modo che possano dare una rappresentazione più realistica possibile.

- Elementi esecutivi (*Task executers*) sono oggetti che si muovono attraverso il modello, svolgendo e portando a termine mansioni come il trasporto di materiali.

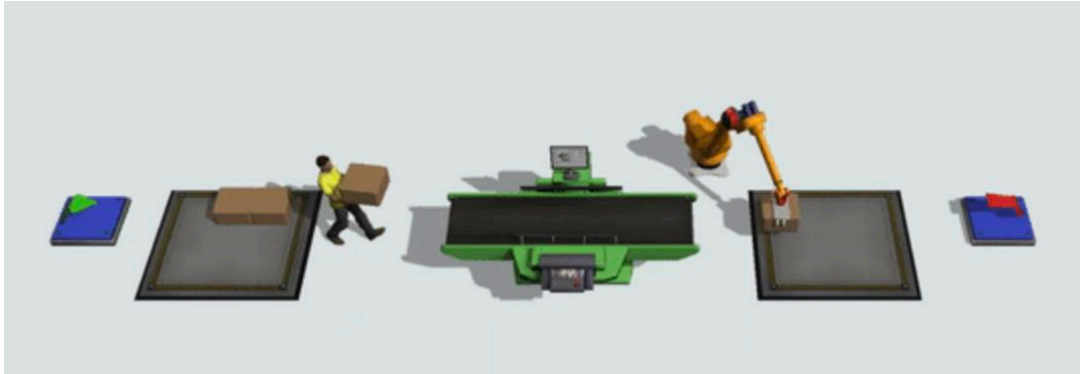


Figura 27- Elementi interni di un modello 3D (Tutorial Flexsim)

Gli elementi fissi che costituiscono il progetto di base e che permettono l'inserimento delle variabili fondamentali del progetto sono:

- Fonti (*Source*): gli elementi che creano il flusso
- Code (*Queue*): memorizzano gli elementi di flusso finché non possono essere trasportati allo stadio successivo
- Processore (*Processor*): rappresenta lo stadio di lavorazione degli elementi di flusso
- Fonte finale (*Sink*): rimuove gli elementi di flusso dal modello rappresentando la conclusione del ciclo produttivo o degli scarti.

Alcuni Elementi esecutivi fondamentali per la costruzione del modello sono:

- Operatori (*Operator*): Gli operatori rappresentano i dipendenti che possono trasportare oggetti di flusso, utilizzare risorse fisse ed eseguire una serie di altre attività
- Trasportatori (*Transporter*): un carrello elevatore che solleverà o abbasserà gli oggetti di flusso quando li sta caricando o scaricando da una cremagliera
- Robot (*Robot*): un trasporto speciale che solleva gli oggetti dal loro punto di partenza e li colloca nei punti di arrivo.

Possiamo vedere una rappresentazione di alcuni elementi in un esempio di simulazione nella Figura 27.

Modello di simulazione

La creazione del modello di simulazione si basa sul caso studio analizzato nel primo paragrafo del Capitolo 3. È possibile, tramite il software, costruire le due linee produttive secondo lo schema degli stadi produttivi rappresentato successivamente in questo paragrafo.

Tramite i seguenti passaggi operativi siamo in grado di costruire il modello di un sistema:

1. Avvio del software Flexsim e selezione delle unità di misura del modello;
2. Creazione e disposizione degli oggetti nel modello 3D;
3. connessione degli oggetti tramite la parte input/output e centrali;
4. definizione dei tempi di processo e degli elementi di flusso tramite assegnazione di tipologie e colori;
5. definizione delle percentuali dello smistamento delle risorse nei differenti output;
6. avvio della simulazione;
7. creazione di una *dashboard* e visualizzazione dei risultati;

Creazione automatizzata del modello

Per realizzare il progetto del caso studio, che simula la produzione di due prodotti, innanzitutto si definiscono le unità di misura richieste dal software all'apertura di un nuovo modello (Figura 28), che per il nostro caso studio sono rimaste invariate rispetto a quelle proposte di *default* da Flexsim. Le unità di misura scelte sono:

- *Time*: unità di misura usata per inserire le variabili numeriche di tempo
- *Length*: la distanza che andremo a considerare all'interno del simulatore
- *Start Time e Start date*: specificano l'ora e il giorno, in cui viene inizializzata una simulazione.



Figura 28- Selezione unità di misura (Flexsim)

Gli oggetti, elencati in modo completo nel paragrafo precedente sono stati invece posizionati secondo lo studio del dimensionamento svolto nel paragrafo precedente. I primi elementi posizionati sono i blocchi *Source*, rappresentati dal simbolo in Figura 29, che hanno la funzione di generare le unità che verranno successivamente lavorate nelle macchine, rappresentate da un “box”, ovvero una scatola. Per questo blocco sono stati posizionati due elementi di alimentazione del processo, uno per la linea di produzione A001 e uno per la linea di produzione B002: in entrambi sono state modificate alcune proprietà.

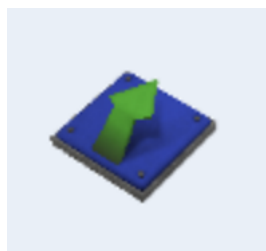


Figura 29- Source Flexsim

Gli oggetti *source*, “Linea A001” e “Linea B002”, rappresentano rispettivamente i punti di uscita dei prodotti A001 e B002. Per poter rappresentare la produzione di due prodotti differenti è stato necessario entrare nella proprietà “*Labels*” e inserire la tipologia di prodotto, mentre in “*Source*” è stata inserita una tabella che rappresenta il prodotto uscente a cui è stato possibile associare un colore: Marrone per il prodotto B002 e Blu per A001. Le proprietà inserite sono visibili nella Figura 29.

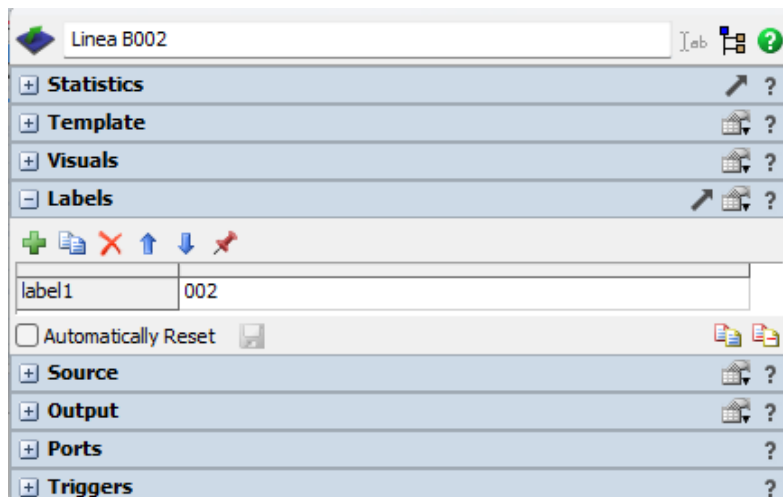


Figura 30- Proprietà Source (Flexsim)

Successivamente, per rappresentare i macchinari presenti, assoceremo per ogni singolo stadio e reparto il numero di *Processor* (Figura 30) corrispondenti.



Figura 31- Processor (Flexsim)

All'interno di ogni *processor* è stato necessario inserire alcune variabili come il *Process Time*, (tempo di realizzazione del prodotto, espresso in secondi) e associare a ogni macchinario la propria percentuale di scarto K_1 . Per poter attuare questo passaggio, raffigurato nella Figura 31, come primo passo selezioniamo il macchinario ed entriamo nella sezione "*Triggers*"; successivamente selezioniamo "*On entry*" e "*Set Label By Percentage*"; cliccando sull'icona con il simbolo "+" in verde aggiungiamo una nuova casistica, ed in inseriamo la percentuale di prodotti non scartati su "Value 1" e di quelli scartati su "Value 2", mantenendo inalterato il caso di *default*.

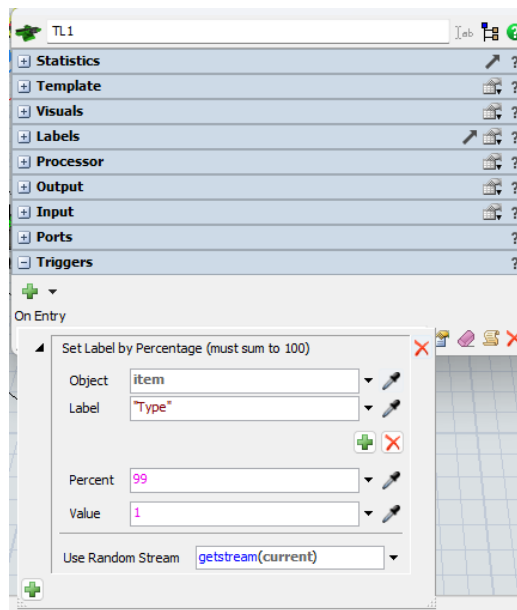


Figura 32- Proprietà processor (Flexsim)

Una volta svolto tale passaggio, è necessario entrare nella sezione Output delle proprietà per poter indirizzare lo scarto dei macchinari verso il “sink” dedicato. Una volta entrati nella sezione (Figura 32), selezioniamo “Send to Port” e “Port by Case” e associamo il primo caso con la prima porta, lo stadio successivo, e il secondo caso con la seconda porta producendo quindi uno scarto del prodotto.

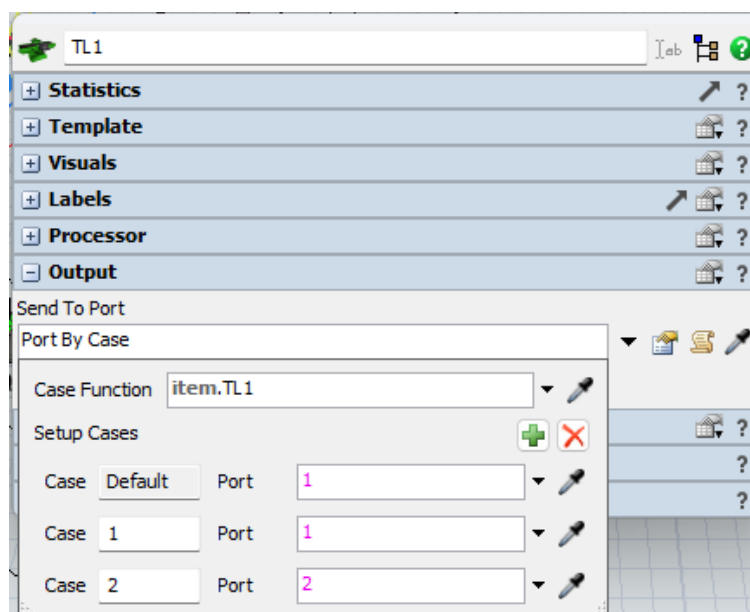


Figura 33- Proprietà Processor (Flexsim)

In questo senso, sarà fondamentale inserire anche i blocchi *Sink* nel nostro modello simulativo. L'oggetto viene utilizzato come raccogliitore di prodotti sia alla fine della linea produttiva per i prodotti finiti sia, come visto nel nostro caso studio, per scarti anche se i suoi utilizzi possono essere molteplici. Se con l'oggetto *source* è possibile stabilire i valori in uscita e i tempi di uscita, che vedremo nel capitolo successivo, il Sink (Figura 33) ci permette di conteggiare l'output totale tramite l'aggiunta di una Dashboard all'interno del Toolbox.

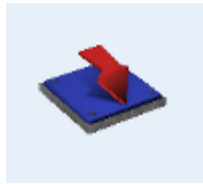


Figura 34- Sink (Flexsim)

Per gli oggetti "Processor", come ultimo passaggio tramite il comando Toolbox si aggiunge la proprietà "MTBF/MTTR", in modo da associare al singolo macchinario i coefficienti K_2 , K_3 e K_4 . Per poter svolgere tale operazione è necessario aggiungere una nuova voce "MTBF/MTTR Properties" al Toolbox e selezionare le macchine a cui si vogliono apportare queste modifiche. Possiamo ipotizzare, per simulare il funzionamento dei macchinari, che essi si fermino con un andamento uniforme ed una variazione del 20%.

L'ultimo oggetto (Figure 35) inserito è il "Queue". Lo si può inserire come rappresentazione del buffer, ovvero di un deposito temporaneo dei prodotti in attesa delle operazioni; nel nostro caso studio questi blocchi sono stati inseriti tra gli stadi delle linee in quanto asincrone e come magazzino inter-operazionale tra le due linee e i reparti, che nel dimensionamento precedente è stato opportunamente dimensionato tramite il metodo del serbatoio.

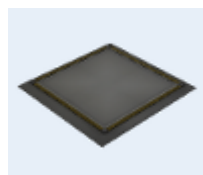


Figura 35- Queue (Flexsim)

Infine, una volta nominati tutti gli oggetti presenti all'interno del modello è possibile rappresentare il progetto completo e utilizzarlo per le simulazioni (Figura 36).

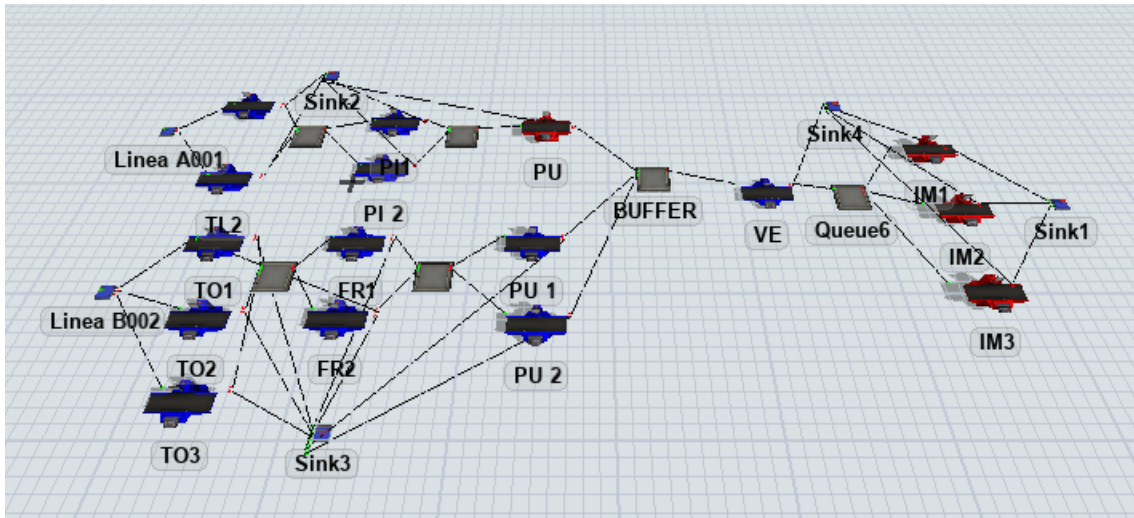


Figura 36- Rappresentazione caso studio (Flexsim)

Capitolo 4

Proseguendo con il caso studio, dopo aver discusso i passaggi fondamentali per la creazione del modello su Flexsim, svolto nel capitolo precedente, possiamo ora modificare la grandezza del buffer inter-operazionale del nostro modello in modo da simulare le linee di produzione e analizzare le performance dell'impianto.

Rappresentazione delle ipotesi di dimensionamento

Partendo dal dimensionamento effettuato nel capitolo precedente attraverso il metodo del serbatoio, iniziamo ad analizzare il buffer inter-operazionale tra i fine linea dei due prodotti e il reparto di verniciatura. L'output richiesto al sistema produttivo è il seguente:

- 400 pezzi/giorno per la linea A001
- 600 pezzi/giorno per la linea B002

Partendo da una dimensione di 50pz, sono stati analizzati diversi volumi del buffer e misurate le performance dell'impianto.

Per poter misurare tali performance sono stati impostati dei grafici specifici come la percentuale di utilizzo di ogni macchinario, l'andamento di riempimento e svuotamento del buffer e il tempo di attesa di ogni pezzo prima di essere lavorato nello stadio successivo.

Per creare questi grafici è necessario inserire la proprietà "Dashboard- Add Blank dashboard" (figura 37) dove saranno presenti diverse opzioni di grafici disponibili.

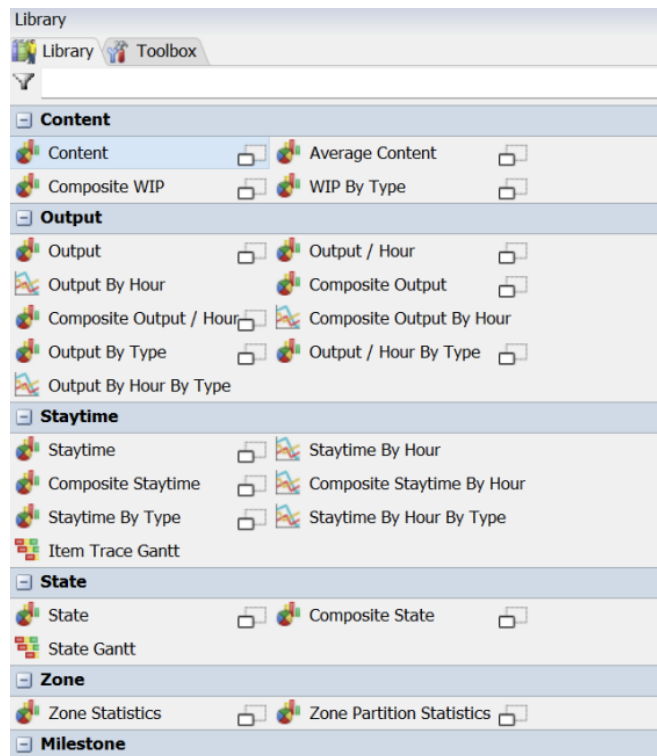


Figura 37- Dashboard del Toolbox (Flexsim)

Nel caso studio i grafici fondamentali che sono stati utilizzati sono l'output totale dell'intero sistema produttivo, l'andamento dei flussi di materiali nel buffer, e lo stato dei processor.

Process Flow

Una volta definite tutte le proprietà possiamo simulare differenti casi dove il buffer assume differenti grandezze. Partendo quindi dal primo caso di 50 pezzi fino all'ultimo di 800 pezzi svolti su un periodo di lavoro giornaliero pari a 8 ore.

La figura 38 indica il flusso di materiale all'interno del buffer in base alla sua grandezza durante le 8h. Nel grafico l'asse delle ascisse indica le 8 ore di lavoro, mentre quello delle ordinate rappresenta il volume istantaneo del buffer. Come è possibile vedere, prima dei 600 pezzi di capienza, il grafico si blocca al massimo della capienza del buffer stesso; ad esempio con il buffer da 200 pezzi, esso inizia rapidamente a riempirsi e una volta raggiunto tale volume, il riempimento si blocca; di conseguenza la macchina a monte non potrà più lavorare pezzi. Questo comporta un output inferiore di tutto l'impianto. Con un volume oltre i 600 pezzi, invece, il buffer non raggiunge mai la sua massima

capienza e quindi l'output finale è ottimizzato. Da questi grafici è inoltre possibile vedere che il riempimento massimo del buffer corrisponde a 502 pezzi.

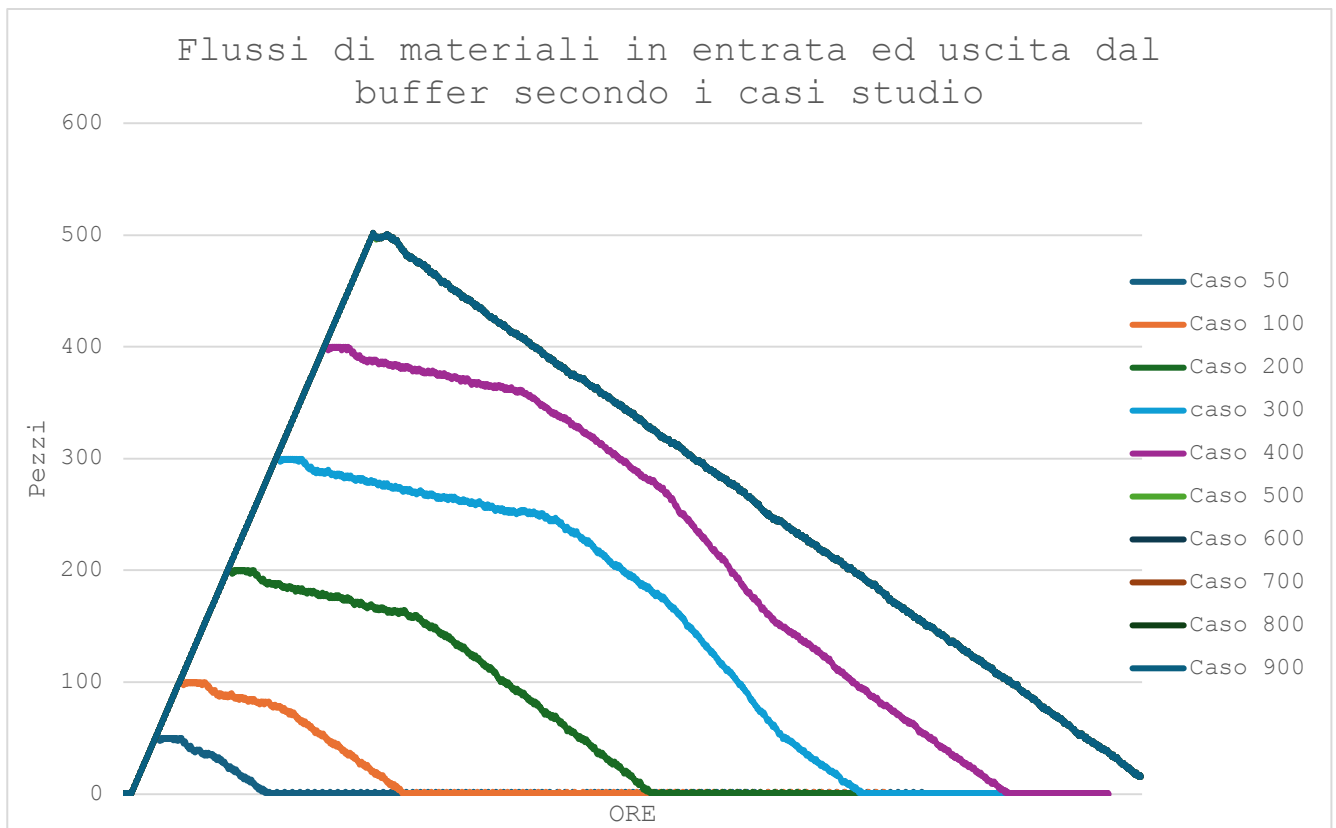


Figura 38- Grafico dei Flussi tramite simulazione Flexsim

La Figura 39, invece, rappresenta l'output totale dell'impianto al variare del volume del buffer, analizzando gli stessi volumi del grafico precedente.

Quando il buffer è sottodimensionato come nei casi sotto i 600 pezzi possiamo vedere che la linea non raggiunge la quota di prodotti finiti giornaliera desiderata dal caso studio; tuttavia all'aumentare del volume del buffer, l'output migliora sempre di più fino a raggiungere la quota desiderata con buffer maggiori di 500 pezzi.

In generale, è possibile affermare che le simulazioni mostrano che l'inserimento di un buffer all'interno del caso studio al di sotto dei 500 pezzi potrebbe portare al fenomeno del sottodimensionamento e di conseguenza sarebbe incapace di far fronte a possibili guasti o blocchi tra i reparti e le due linee. Al contrario, oltre i 600 pezzi potrebbe invece dimostrarsi un buffer sovradimensionato i cui costi hanno superato i benefici. A 500

pezzi esatti invece, l'output è esattamente quello richiesto, e pertanto è consigliabile un valore leggermente più elevato.

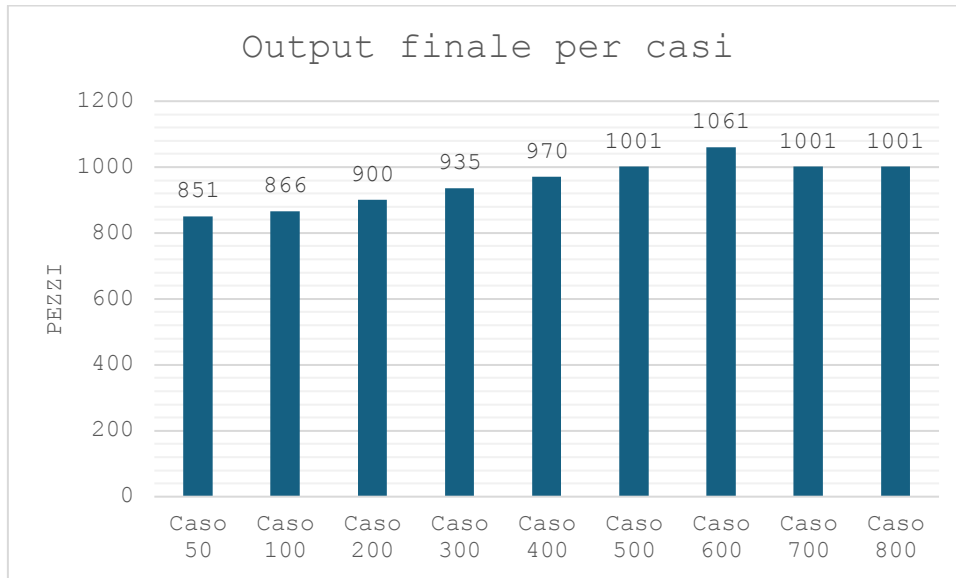


Figura 39- Istogramma output linea produttiva per casi

Per completare lo studio analizziamo il grafico *bar chart*, Figura 40, in cui possiamo vedere le percentuali di utilizzo dei macchinari con un buffer pari a 600 pezzi.

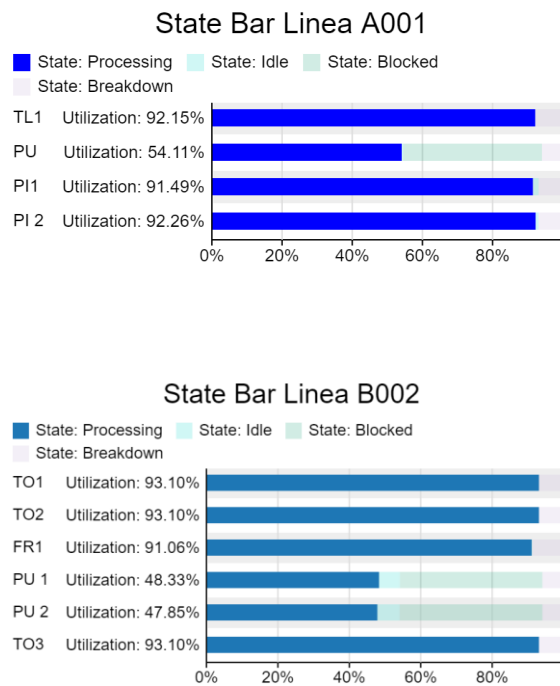
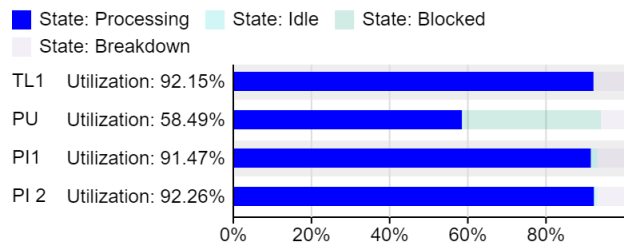


Figura 40- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 50 pezzi

State Bar Linea A001



State Bar Linea B002

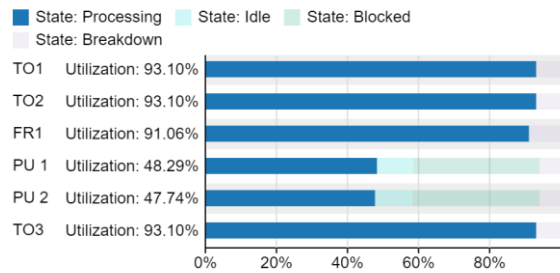
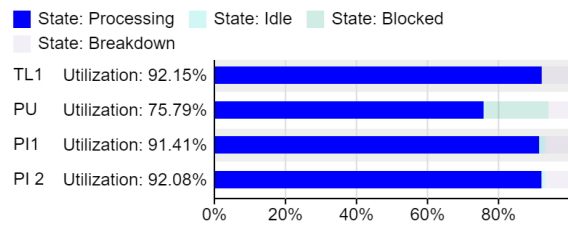


Figura 41- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 100 pezzi

State Bar Linea A001



State Bar Linea B002

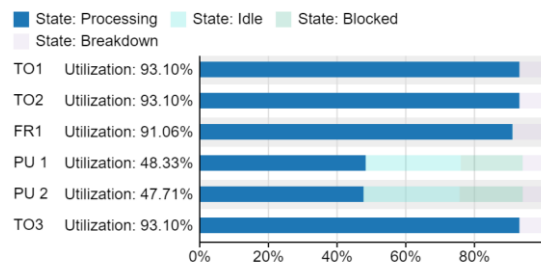


Figura 42- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 300 pezzi

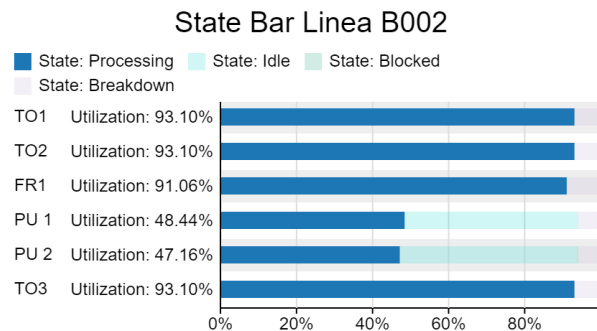
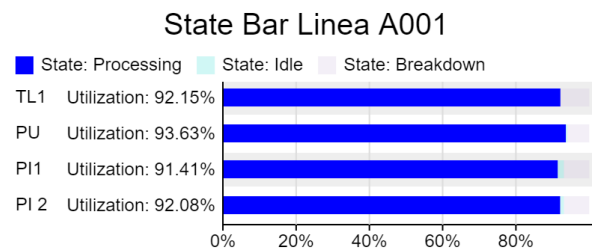


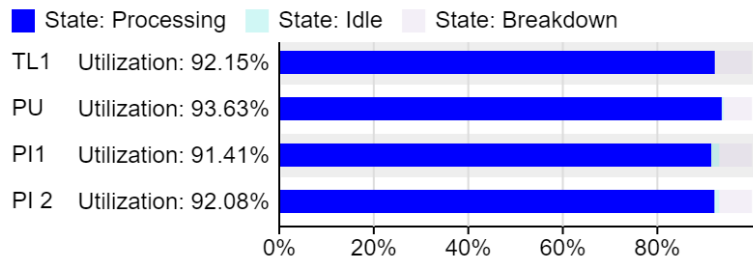
Figura 43- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 500 pezzi

Come fatto nel Capitolo 3 tramite il metodo del serbatoio possiamo anche in questo caso trarre alcune conclusioni. Se iniziamo guardando la state bar della linea A001 le percentuali di utilizzo sono molto alte anche se nei casi con capacità inferiori (Figura 41 e 42) il valore dello stadio PU è sotto il 60% e nel caso 300 pezzi sotto l'80%. Per gli altri casi, sempre considerando la linea A001, possiamo affermare che le percentuali sono molto buone con alti livelli di efficienza.

Nelle tabelle della linea B002, nonostante alcuni valori siano uguali ai coefficienti, le macchine appartenenti allo stadio PU hanno tutte valori molto bassi, sotto il 50% (Figure 40, 41, 42 3 43) probabilmente dovuti a un leggero sovradimensionamento della linea negli stadi precedenti.

Infine nelle Figure 44 e 45 vediamo che anche per gli ultimi casi (quelli con il numero di pezzi maggiori) le percentuali non vengono modificate per nessuna delle due linee facendoci confermare le considerazioni svolte precedentemente.

State Bar Linea A001



State Bar Linea B002

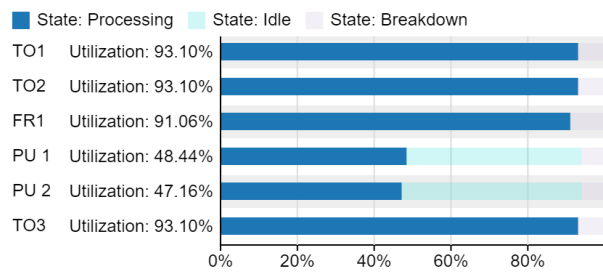
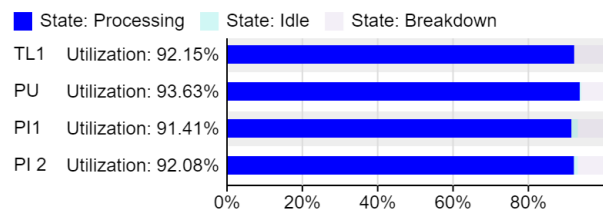


Figura 44- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 600 pezzi

State Bar Linea A001



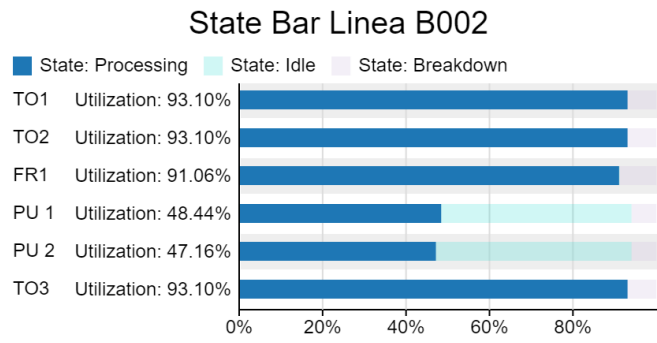


Figura 45- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 800 pezzi

Conclusioni

La presente tesi ha l'obiettivo di analizzare due diversi metodi di dimensionamento del buffer, il metodo del serbatoio e la simulazione, andando ad applicarli ad un caso studio. Dopo alcuni richiami teorici svolti principalmente con l'intento di introdurre all'argomento delle linee asincrone e dei buffer si è passato al dimensionamento del sistema produttivo. Il sistema è composto da due linee distinte che producono due diversi prodotti, A001 e B002, e successivamente vengono stoccati in un buffer inter-operazionale, per poi essere lavorati nei reparti di verniciatura e imballaggio.

Dopo aver dimensionato il sistema con l'obiettivo di rispettare l'output richiesto, è stato applicato il metodo del serbatoio, simulando diversi profili orari. Il risultato è stato un buffer che varia da un minimo di 425 pezzi ad un massimo di 628 pezzi. Infatti, tale metodo risulta molto semplice, pratico e veloce; tuttavia, il risultato è strettamente legato al profilo orario studiato e di conseguenza può essere molto variabile.

Infine, è stata costruita la simulazione in Flexsim, grazie alla quale è stato possibile testare le differenti casistiche e valutare le performance dell'intero impianto sulla base delle dimensioni del buffer. I risultati hanno mostrato che la dimensione ottimale è tra i 500 e 600 pezzi, essendo che il massimo riempimento ottenuto è di 502 pezzi, e oltre tale volume l'output dell'impianto risulta costante e raggiunge il valore desiderato.

Come discusso nel Buffer Allocation Problem il limite principale è che non è possibile ricavare il numero necessario di buffer e le loro capacità tramite l'utilizzo di un singolo metodo e che, come è stato visto all'interno della tesi tali metodologie, si basano su ipotesi e coefficienti di sicurezza dando come risultato delle approssimazioni. Queste approssimazioni potrebbero non rilevarsi corrette successivamente in un caso pratico perché troppe restrittive o mal poste.

Riassumendo grazie al metodo del serbatoio siamo capaci di ottenere un range di possibili capacità del buffer, nel nostro caso compreso tra i 628 e 425 pezzi (basati sui profili orari), e con il metodo della simulazione un valore di capacità massima di 502 pezzi che però è strettamente legato alle variabili inserite.

Come discusso anche da molti elaborati, citati in questa tesi per ottenere un buon risultato la scelta più esatta sarebbe quella di comparare differenti metodi tra loro in

modo da rilevare la grandezza ottimale del buffer. È chiaro quindi che l'analisi e il confronto tra differenti metodi è un procedimento lungo e complesso che necessita di una grande quantità di dati che devono essere raccolti all'interno dell'azienda. Di fatto un grande limite di questa tesi è che il caso studio che si basa su una quantità di dati inferiore, ad esempio la mancanza dei profili orari che in questo elaborato sono stati ipotizzati, rispetto a quelli che si potrebbero trovare in un reale studio da cui potremo ottenere risultati più interessanti e molte più riflessioni sul confronto tra le due metodologie.

Indice delle figure

Figura 1- Diagramma P-Q.....	7
Figura 2- Linea di produzione sincrona.....	9
Figura 3- Schema semplificato del flusso dei diversi prodotti attraverso i reparti	11
Figura 4- Esempio di produzione in cella	13
Figura 5-Costruzione di un aereo con produzione a postazione fissa	14
Figura 6- Andamento dell'utilizzo del macchinario.....	17
Figura 7- Linea asincrona.....	20
Figura 8- Linea Asincrona.....	21
Figura 9- Andamento costi rispetto al dimensionamento del Buffer	23
Figura 10- Nastro trasportatore, Baldacci Meccanica	26
Figura 11- Buffer a pallet.....	26
Figura 12- Buffer rotante (meccanica, Parma)	27
Figura 13- Nastro trasportatore verticale (A.B.M.)	27
Figura 14- Nastro trasportatore rotante (Urbinati srl).....	28
Figura 15- Buffer ganci (Fratelli Giacomel)	28
Figura 16- Matrice sperimentale del coefficiente di sicurezza.....	31
Figura 17-Grafico del Metodo del serbatoio	34
Figura 18- Metodo del serbatoio.....	34
Figura 19- Flussi dei materiali all'interno del Buffer	35
Figura 20- Rappresentazione Grafica del caso studio	37
Figura 21- Rappresentazione schematica della disposizione dei macchinari	44
Figura 22- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 1.....	47
Figura 23- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 2.....	48
Figura 24- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 3.....	49
Figura 25- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 4.....	50
Figura 26- Rappresentazione andamento dei flussi- CASO 5.....	51
Figura 27- Elementi interni di un modello 3D (Tutorial Flexsim).....	54
Figura 28- Selezione unità di misura (Flexsim)	56
Figura 29- Source Flexsim	56
Figura 30- Proprietà Source (Flexsim)	57
Figura 31- Processor (Flexsim)	57
Figura 32- Proprietà processor (Flexsim)	58
Figura 33- Proprietà Processor (Flexsim)	58
Figura 34- Sink (Flexsim).....	59
Figura 35- Queue (Flexsim)	59
Figura 36- Rappresentazione caso studio (Flexsim)	60
Figura 37- Dashboard del Toolbox (Flexsim)	62
Figura 38- Grafico dei Flussi tramite simulazione Flexsim	63
Figura 39- Istogramma output linea produttiva per casi.....	64
Figura 40- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 50 pezzi.....	64
Figura 41- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 100 pezzi.....	65
Figura 42- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 300 pezzi.....	65
Figura 43- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 500 pezzi.....	66
Figura 44- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 600 pezzi.....	67
Figura 45- Bar chart efficienza Processor (Flexsim) Caso 800 pezzi.....	68

Indice delle tabelle

<i>Tabella 1- Dati iniziali caso studio</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 2- Coefficienti numero macchinari.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabella 3- Coefficienti di utilizzo degli stadi.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabella 4- Coefficienti utilizzo della linea</i>	<i>42</i>
<i>Tabella 5- Coefficienti numero dei macchinari</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 6- Coefficienti di Utilizzo per stadio</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 7- Coefficienti di utilizzo di linea</i>	<i>43</i>
<i>Tabella 8- Coefficienti ricavati dal Caso Studio</i>	<i>44</i>
<i>Tabella 9-Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 1</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 10-Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 2.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabella 11- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 3.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabella 12- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 4.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabella 13- Dimensionamento di Buffer con il Metodo del Serbatoio CASO 5.....</i>	<i>51</i>

Riferimenti Immagini

Figura 13: <http://www.abmnastri.com/>

Figura 14: <https://baldaccimeccanica.it/componenti-per-nastri-trasportatori-industriali-e-alberi-di-traino/>

Figura 15: <https://www.cisco-eagle.com/blog/2021/04/20/how-to-design-and-utilize-storage-buffers/>

Figura 16: <https://www.tfpmeccanica.it/sistemi-accumulo-tavoli-rotanti-accumuloparma.html>

Figura 17: <https://www.urbinati.com/it/prodotto/nastro-trasporto-alluminio-nta/>

Figura 18: <https://fratelligiacomel.it/>

Tutte le figure del Capitolo 3 e 4 sono prese da:

<https://docs.flexsim.com/en/19.2/Tutorials/FlexSimBasics/BasicsOverview/BasicsOverview.html>

Bibliografia

- Ilenia Zennaro, 2023/2024, appunti e slide del Corso di Impianti Meccanici, UNIPD
- Flexsim User Manual, 2024
- Pareschi, Impianti industriali, criteri di scelta, progettazione e realizzazione. 2007, isbn: 978-8874882342
- Zennaro, Serena Finco, Riccardo Aldrighetti and Daria Battini (2022) *'Buffer size evaluation in a bottle plant production system: a comparison between different solving methods'*, Int. J. Services and Operations Management
- Battini, D., Faccio, M., Persona, A. and Regattieri, A. (2013) *'Buffer design for availability: a new simulative study in case of infant and random failures'*, International Journal of Services and Operations Management, Vol. 14, No. 2.
- Battini, D., Persona, A. and Regattieri, A. (2009) *'Buffer size design linked to reliability performance: a simulative study'*, Computers and Industrial Engineering, Vol. 56, No. 4.
- Demir, L., Tunali, S. and Eliiyi, D.T. (2014) *'The state of the art on buffer allocation problem: a comprehensive survey'*, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 25, No. 3.
- Weiss, S., Schwarz, J.A. and Stolletz, R. (2019) *'The buffer allocation problem in production lines: formulations, solution methods, and instances'*, IIE Transactions, Vol. 51, No. 5.