

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso di Laurea Triennale in
INGEGNERIA INNOVAZIONE DEL PRODOTTO



Tesi di Laurea Triennale

Dimensionamento di una linea automatizzata per la produzione di prodotti farmaceutici soggetta a micro- fermate tramite simulazione ad eventi discreti

Relatori:

Prof.ssa Finco Serena

Prof.ssa Zennaro Ilenia

Laureandi:

Meneghini Marco, 1194126

Oriente Mattia, 1166386

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

INDICE	2
SOMMARIO	3
1 LE LINEE DI PRODUZIONE AUTOMATIZZATE	4
2 BUFFER INTEROPERAZIONALI	6
Ottimizzazione dei costi	7
Le micro-fermate	8
2.1 Tipologie di produzione	9
2.2 Dimensionamento Impianto	12
Metodo dei calcoli diretti.....	12
2.3 Efficienza linee automatizzate – l'indice OEE & TPM	14
Come si calcola?	15
Six big losses.....	16
3 PROGETTO	18
3.1 Introduzione	18
3.2 Dati Iniziali	19
3.3 Obiettivo del progetto	20
3.4 Manutenzione dei sistemi di produzione	20
Funzione densità di probabilità di guasto	21
Tasso di guasto condizionato	21
Bath Tube.....	22
La funzione di Weibull	23
Affidabilità di sistemi riparabili – manutenibilità.....	24
4 COSTRUZIONE DEL MODELLO	26
4.1 Software AnyLogic	26
4.2 Analisi distribuzione dei TTF e TTR delle macchine critiche	30
Inserimento nel modello delle distribuzioni ottimali nelle macchine critiche.....	30
4.3 Linea	31
4.4 Validazione del modello	32
Output & Grafici	32
5 DIMENSIONAMENTO DEI BUFFER	33
Buffer in entrata al Dial Assembler	33
Buffer in entrata al Clutch Assembler	34
Buffer in entrata al Nut Assembler	35
Output finale	36
Buffer in entrata al Dial Assembler	38
Buffer in entrata al Clutch Assembler	39
Buffer in entrata al Nut Assembler	40
6 CALCOLO OEE	41
CONCLUSIONI	42
Considerazioni sul metodo usato	43
7 Bibliografia	44

SOMMARIO

La linea di produzione automatizzata è una disposizione fisica di stazioni necessarie al ciclo di lavorazione di un determinato prodotto, caratterizzate dal fatto che le diverse operazioni vengono eseguite in successione mediante il passaggio del prodotto in lavorazione da un punto all'altro della linea.

Alcuni pilastri fondamentali che caratterizzano queste linee sono la velocità, l'organizzazione e l'efficienza i quali permettono se rispettati di portare ad un aumento dell'utile, con un conseguente aumento dei ricavi.

Per far sì che una linea di produzione si rispecchi in tutti questi punti, devono essere effettuati diverse ottimizzazioni che possono andare incontro ad investimenti talvolta anche molto onerosi.

L'introduzione di buffer interoperazionali tra le varie stazioni è uno di questi.

I buffer sono un deposito momentaneo di materiali in corso di lavorazione posto tra due macchine in una linea produttiva, che hanno la funzione di disaccoppiamento tra gli stadi, evitano fenomeni di "starving" e di "blocking" e consentono un funzionamento ottimale e fluido della linea, facendo lavorare gli stadi stessi in modo più indipendente tra di loro. Tali buffer perché possano rendere al meglio devono essere sottoposti ad un corretto dimensionamento, attraverso metodi analitici e non.

In questo progetto, è stato utilizzato un approccio simulativo ad eventi discreti attraverso l'utilizzo di AnyLogic, uno strumento per creare modelli di Simulazione sviluppato da The AnyLogic Company che permette di ottenere velocemente risultati affidabili e a costi relativamente contenuti, evitando di commettere errori e facendo fronte ad investimenti errati.

Il progetto in esame è una linea per la produzione di un importante prodotto per la cura del diabete costituita da nove stazioni intervallate da quattro punti di accumulo dove i componenti aspettano di essere processati dalle macchine.

Come prima cosa è stata effettuata un'analisi approfondita sui dati della linea. Tale analisi ha consentito di impostare correttamente i parametri delle stazioni all'interno del modello simulativo durante la sua costruzione attraverso AnyLogic da dove è stato poi possibile stabilire quali fossero effettivamente le stazioni che presentavano le maggiori criticità.

È stata effettuata poi la validazione, che ci ha confermato il corretto funzionamento del modello e quindi la sua vicinanza al caso reale.

Una volta validato il modello si è passati al dimensionamento.

Sono stati seguiti due approcci di studio, il primo più oneroso che prevede la variazione di tutti i buffer mentre un secondo più semplice che prevede la variazione dei buffer presi singolarmente, studiando così un caso alla volta.

Infine, attraverso i valori ottenuti dallo studio di questi casi è stato possibile calcolare un indice, chiamato Overall Equipment Effectiveness (efficienza generale dell'impianto), o più semplicemente OEE, il quale ha permesso di quantificare il rendimento globale della linea e come varia nei casi studiati.

1 LE LINEE DI PRODUZIONE AUTOMATIZZATE

La catena di montaggio o linea di produzione automatizzata è un sistema di produzione che segue uno schema ben definito. Ogni operaio deve svolgere un compito preciso, essenziale alla creazione del prodotto finale. Tutto è ridotto ad un unico gesto, ripetuto più volte durante la giornata lavorativa ed ognuna delle operazioni svolte dagli operai deve essere compiuta in un tempo stabilito.

Agli inizi del Novecento, sfruttando i progressi avvenuti nella prima rivoluzione industriale l'industria ha avuto uno sviluppo senza precedenti, grazie alle teorie dell'ingegnere statunitense Fredrich Taylor (1856-1915). Punto cardine della sua visione fu la divisione scientifica del lavoro. Taylor riteneva che un'impresa per migliorare il più possibile i risultati doveva attenersi a due principi fondamentali. Il primo si basava sull'assunzione che all'interno dell'azienda vi era solo una soluzione che fosse realmente efficiente; perciò, si dedusse che l'operaio doveva solamente concentrarsi sul suo compito senza pensare ad altro, mentre il secondo si basa sul fatto che l'operaio non deve porsi domande su quello che sta facendo ma che lo debba svolgere solamente perché gli è stato detto di farlo.

Chi riuscì a comprendere ed applicare al meglio il pensiero di Taylor è stato Henry Ford (1863-1947). Fu proprio l'imprenditore statunitense che grazie all'idea di Taylor diede vita alla catena di montaggio nell'industria automobilistica. Nel 1908 Ford avviò la produzione di un nuovo modello di automobile la Ford Modello T. Questa vettura, prodotta solamente nel colore nero, era robusta, spaziosa ma anche veloce. Si adattava perciò ai bisogni della popolazione statunitense dell'epoca. Ford aveva come obiettivo quello di creare un veicolo accessibile a tutti, anche alle classi meno abbienti della società.

Tuttavia, per riuscire ad ottenere successo in un mercato eterogeneo come quello dell'epoca, era necessario diminuire i costi ed i tempi di produzione. Per questo Ford decise di studiare le idee di Taylor ed introdurre la catena di montaggio nel suo ciclo produttivo. Questo sistema basato sulla standardizzazione della produzione permetteva di abbattere i costi di fabbrica e rendeva possibile agli stessi operai dell'azienda di comprare una Ford T. L'automobile venne venduta a meno di mille dollari e veniva prodotta in circa un'ora.



Immagine 1 : Catena di Montaggio

Con l'avvento delle produzioni di massa, quando si vide che scarti e rilavorazioni iniziavano a pesare sulle finanze delle aziende, cominciarono ad affacciarsi le prime tecniche di controllo statistico della qualità, mediante test a campione stabiliti statisticamente. Uno dei precursori

conosciuto da tutti come il padre del controllo statistico della qualità, fu il fisico, ingegnere e statista Americano Walter **Shewhart** (1891 - 1967).

La filosofia di garanzia del prodotto teorizzata negli U.S.A. durante gli anni 50 trova in Giappone un ambiente culturalmente adeguato, attento all'eccellenza del proprio operare. Le tecniche americane vengono immediatamente acquisite e portano alla generazione di un concetto originale della qualità che vede come obiettivo primario e condiviso: l'armonizzazione e la sinergia delle singole funzioni aziendali.

Nasce così il CWQC - Company Wide Quality Control, ovvero, la gestione totale della qualità estesa a tutte le funzioni e a tutti i livelli che in Giappone verrà formalizzato ufficialmente nel 1968, un approccio totalmente innovativo costituito dall'introduzione della "Customer Satisfaction": non solo rispetto agli standard di qualità e affidabilità del prodotto, ma anche rispondenza del prodotto alle esigenze del cliente.

Inizia così un periodo di transizione identificato con la terza rivoluzione industriale (1970-2000), dove si sviluppano teorie economiche come il post-fordismo ed il toyotismo ma soprattutto dove il progresso tecnologico comincia a gettare le basi per il grande cambiamento che tutti noi stiamo vivendo, con la nascita e lo sviluppo della rete internet.

Il concetto di qualità totale diffusi in Giappone negli anni 50 giunse in Occidente solo verso la fine degli anni 70, quando le aziende europee e americane si resero conto del crescente divario che si era venuto a creare tra le loro produzioni e quelle nipponiche.

Su questa spinta molte imprese abbandonarono quindi la "produzione di massa" per venire incontro ad una domanda sempre più frammentata e esigente, utilizzando le nuove tecnologie come l'informatica e l'internet per raccogliere informazioni il più precise possibile con cui organizzare la produzione e portare al consumatore finale il prodotto che desidera, diverso da ciò che gli altri competitor sul mercato possono offrirgli, competitivo sia nella qualità che nel prezzo.

Principio chiave è la produzione "just in time" (abbreviata con l'acronimo JIT), un metodo di produzione che non agisce più in modo continuativo, producendo il più possibile e stipando le scorte in magazzini, ma che trae la propria spinta produttiva dalla domanda e dall'ordinazione e solo a quel punto inizia a produrre il bene.

Negli anni 80, molte imprese iniziano a muovere i primi passi verso l'applicazione dei principi e delle tecniche del Lean Thinking il "pensiero snello", uno stile di management che mira all'abbattimento degli sprechi per creare processi standardizzati eccellenti a basso costo con il contributo delle persone. Una filosofia basata sulla centralità del cliente, sul miglioramento continuo, sulla ricerca ossessiva degli sprechi e sulla responsabilizzazione delle risorse aziendali per creare valore aggiunto.

Negli anni 90 cominciano a diffondersi nel mondo aziendale italiano concetti come il TMQ - Total Quality Management e la Lean Production la generalizzazione e divulgazione in occidente del sistema di produzione Toyota o TPS - Toyota Production System.

La propensione odierna delle imprese è tutta rivolta all'automazione industriale all'inserimento di nuove tecnologie produttive per migliorare le condizioni di lavoro, creare nuovi modelli di business, aumentare la produttività degli impianti e migliorare la qualità dei prodotti, in sintesi parliamo di Industria 4.0

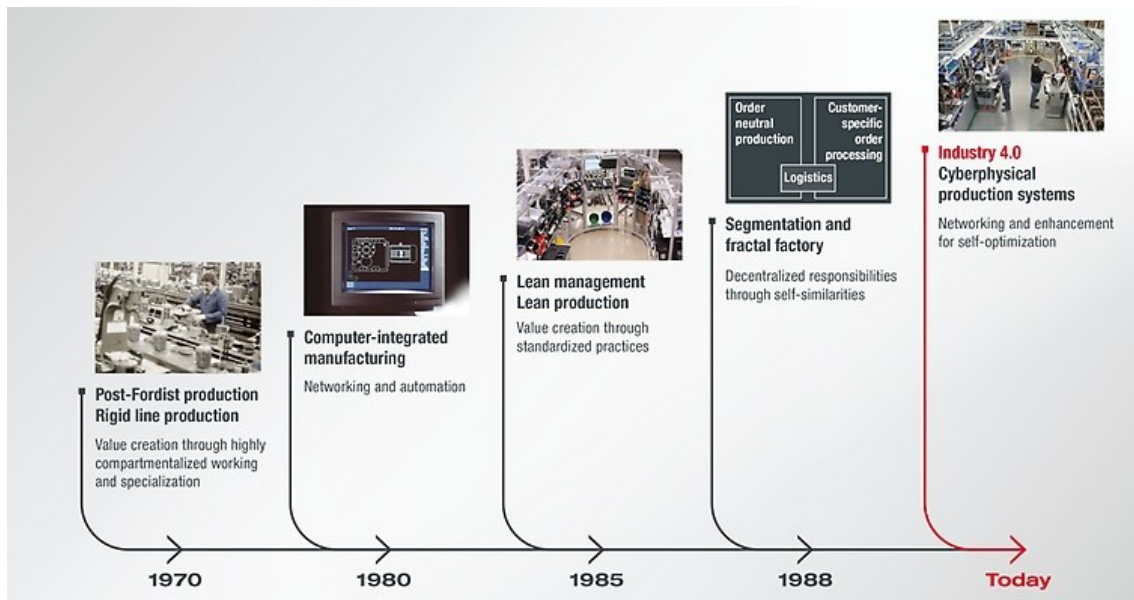


Immagine 2 : Linea temporale dal post-Fordismo ad oggi

2 BUFFER INTEROPERAZIONALI

Con il passare del tempo questo concetto di linea automatizzata è stato definitivamente preso in considerazione sempre da più produttori, l'elevata produttività combinata con l'automazione e la velocità sono stati degli ingredienti chiave per il successo di questo sistema.

Questo è vero fino a che qualcosa all'interno della linea non si inceppa, ma cosa succede se soltanto una parte di essa smette di funzionare? La parte a valle rimarrà ferma in attesa dei pezzi da lavorare, mentre la parte a monte continuerà a produrre creando un accumulo proprio allo stadio che ha presentato il malfunzionamento. Per ovviare a tali problematiche una delle soluzioni adottate è l'inserimento dei cosiddetti **Buffer interoperazionali**.

Un **buffer Interoperazionale** è un deposito momentaneo di materiali in corso di lavorazione posto tra due macchine in una linea produttiva, che ha la funzione di disaccoppiamento tra gli stadi. Consente di far lavorare gli stadi in modo più indipendente, senza l'utilizzo dei buffer una fermata di un macchinario bloccherebbe l'intero processo.



Immagine 3 : Buffer di una linea di imbottigliamento

L'inserimento di questi "polmoni" per la linea evita alle aziende di acquistare impropriamente attrezzature sovradimensionate e consente di bilanciare meglio un sistema produttivo.

Proprio grazie all'inserimento di questi buffer possiamo distinguere due tipologie di linee:

- le linee **SINCRONE** rappresentate da successioni di trasformazioni senza soste intermedie;

- le linee **ASINCRONE** sono linee di trasformazione intervallate da buffer.

Se ad esempio lo stadio a monte si ferma per guasto o a causa di altri tipi di intervento (set up/arresti funzionali) lo stadio a valle riesce comunque a lavorare entro certi limiti grazie alla presenza di pezzi nel buffer, limitando il fenomeno dello “**Starving**”.

Nel caso a fermarsi sia uno stadio a valle, il buffer permette allo stadio a monte di continuare a lavorare grazie alla presenza di spazio all’interno del buffer limitando cioè il fenomeno del “**Blocking**”.

In entrambi i casi il sistema riesce a limitare le inefficienze di impianto.

Esistono diversi metodi per il dimensionamento dei buffer:

- **metodo del serbatoio:** e il metodo più semplice, sono richiesti solo i valori in entrata e uscita dal buffer;
- **simulazione ad eventi discreti:** attraverso un software (per esempio AnyLogic), si può far variare la dimensione del buffer fino a trovare la sua misura ideale attraverso tentativi;
- **attraverso formule empiriche:**

$$C_{max} = K(P, R, \beta) * G * Q$$

dove:

C_{max} è la capacità massima del buffer;

Q è la produttività media in pezzi ora;

G è il MTTR massimo tra le due macchine prima e dopo il buffer;

K è un fattore di sicurezza che dipende da P, R, β , con:

$$P = \frac{A(a)}{A(b)} \text{ dove } A \text{ è la disponibilità della macchina;}$$

$$R = \frac{MTTR(a)}{MTTR(b)}$$

β parametro di forma della distribuzione di Weibull;

Ottimizzazione dei costi

La presenza di questi buffer permette di avere diversi benefici e una linea autonoma con potenzialità omogenee, ma richiede un investimento.

Quali sono i costi che si devono considerare nel momento in cui si decide di investire in un buffer di disaccoppiamento?

Linea **azzurra** figura 4:

- Costi di acquisto e di installazione;
- Costi legati alla giacenza di materiale all’interno dell’impianto;
- Costi relativi allo spazio occupato;
- Costi di gestione/manutenzione;

Linea **rossa** figura 4

- Costi di acquisto dei macchinari della linea;
- Costi di fermo impianto;

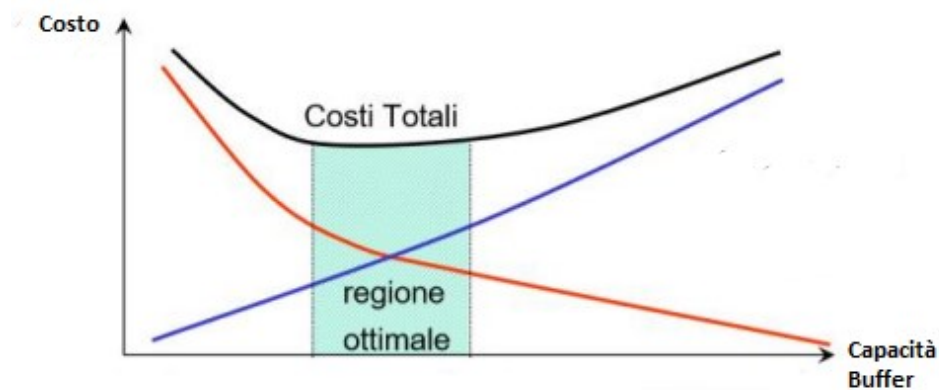


Immagine 4 : Curva dei costi per il dimensionamento di un buffer

La regione ottimale rappresenta il giusto compromesso tra le due curve di costo.

Le micro-fermate

In un impianto produttivo, oltre a fermate di una certa entità temporale (guasti, setup, manutenzioni), esistono anche dei tempi persi molto difficili da rilevare a causa della loro breve durata, ovvero le **micro-fermate** (o micro-breakdown).

Queste spesso vengono ignorate e non analizzate correttamente poiché, in modo superficiale, vengono considerate appartenenti al normale funzionamento di un impianto; in realtà ciò non è vero dal momento che possono penalizzare fortemente le prestazioni delle macchine.

La durata di queste fermate può andare da qualche secondo fino a qualche minuto, ma comunque sono tutte ascrivibili a dei malfunzionamenti temporanei delle attrezzature, che possono essere generalmente ripristinate nel loro funzionamento normale dagli operatori delle macchine in tempi brevi.

2.1 Tipologie di produzione

Esistono varie tipologie di produzione su cui poter fare affidamento per la realizzazione di un medesimo prodotto:

- **Produzione in linea**
- **Produzione per reparti**
- **Produzione in celle**
- **Produzione su commessa**

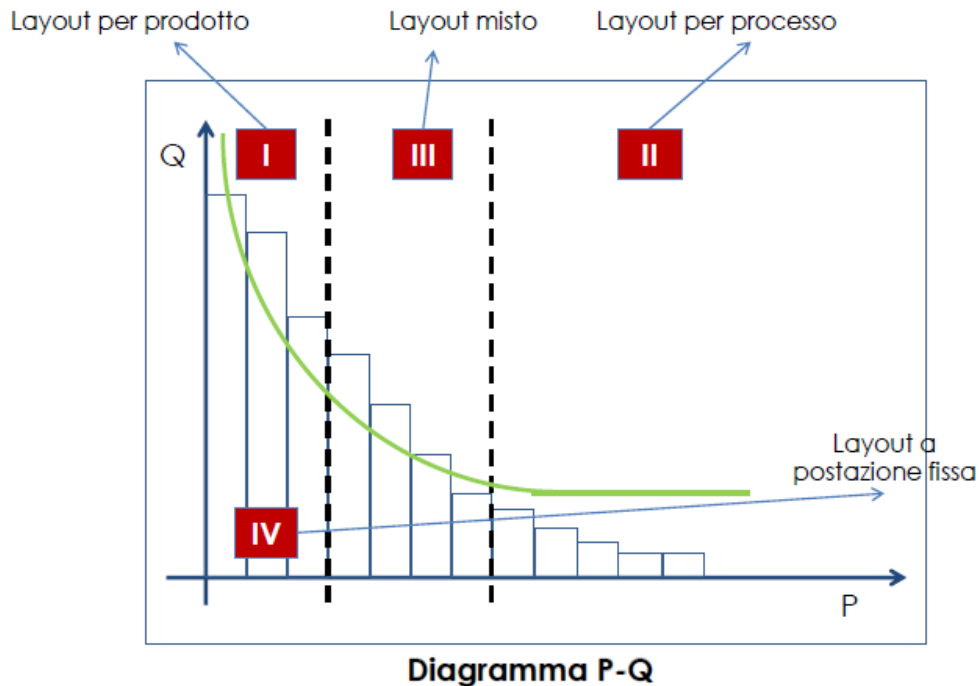


Immagine 5 : Diagramma P-Q

Le **produzioni in linea** sono generalmente monoprodotto, al massimo pochi prodotti. La caratteristica principale è la trasparenza, infatti soltanto guardando il layout si riesce a vedere il ciclo tecnologico dell'impianto, ovvero la sequenza delle lavorazioni che la materia prima subisce. Non sono necessarie elevate movimentazioni di materiale, ed i percorsi sono generalmente lineari e unidirezionali, con un elevato livello di automazione. I macchinari sono specifici essendo che devono effettuare il processo su un'unica tipologia di prodotto, mentre la manodopera è di controllo e supporto, ovvero generica.

I sistemi di trasporto e movimentazione sono quindi automatizzati e di tipo rigido (nastri trasportatori, rulliere, convogliatori ad aria), lo spazio disponibile è generalmente ben sfruttato e il WIP (Work In Progress) è ridotto al minimo.

Il coefficiente di utilizzo di questi impianti si aggira attorno all' 80-90%, ovvero molto elevato. Esso indica la percentuale di tempo in cui il macchinario è effettivamente utilizzato rispetto al tempo in cui era disponibile alla produzione.

Qui di seguito si può osservare un esempio di produzione in linea:

N°MACCHINE

- 1 Impastatrice
- 2 Estrusione
- 3 Forno a tunnel
- 4 Raffreddamento naturale
- 5 Pesatrice automatica
- 6 Confezionatrice
- 7 Robot pallettizzatore

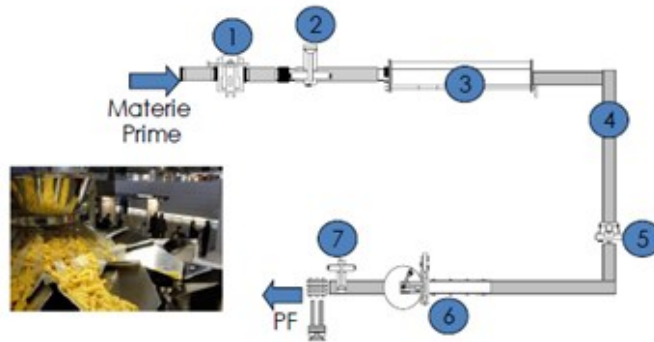


Immagine 6 : Produzione in Linea



Immagine 7 : Linea di laminazione (Canol S.r.l. | Via Casa Celeste, 4/6 | 36014 - Santorso (VI) Italia

Nella **produzione per reparti** invece i macchinari sono raggruppati per omogeneità di lavorazione e funzionalità in apposite aree/sezioni chiamati “reparti”. Ogni prodotto può attraversare i vari reparti in ordine diverso e solitamente si spostano in lotti. A differenza della produzione in linea, il layout della produzione per reparti non è trasparente e ci possono essere percorsi incrociati. Per quanto riguarda i macchinari, sono abbastanza generici, in grado di lavorare diverse tipologie di prodotti e quindi fare lavorazioni differenti in base alla necessità; di conseguenza il livello di automazione è basso, e la manodopera è specializzata, in quanto è lei che effettua le diverse lavorazioni in base al prodotto.

Gli spazi non sono sfruttati al meglio, specialmente per la necessità di spazio a bordo macchina per il carico e scarico dei materiali, e per i corridoi tra i vari reparti dove movimentare la merce in lavorazione. Il WIP è elevato, abbiamo un'elevata quantità di materiale in fase di lavorazione, e spesso in attesa dovuta alla diversità di lavorazioni tra i vari lotti. Infine, il coefficiente di utilizzo è basso, a causa dei numerosi set-up richiesti tra un lotto e l'altro.

Di seguito si può osservare un esempio di come i prodotti percorrono le varie stazioni produttive:

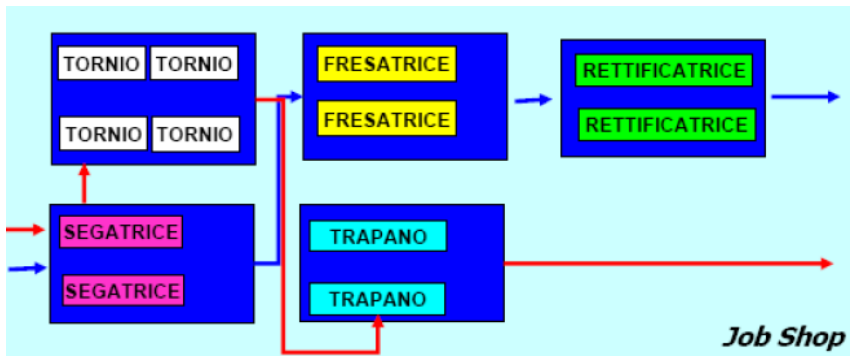


Immagine 8 : Produzione per reparti



Immagine 9 : Azienda produttrice di stampi

La **produzione in celle** è caratterizzata dalla produzione di famiglie di prodotti simili, con volumi e varietà intermedi tra le due produzioni precedenti. Essa ha l'obiettivo di avvicinarsi all'elevata produttività delle linee automatizzate, mantenendo la flessibilità della produzione per reparti.

Esempio di produzione in celle:

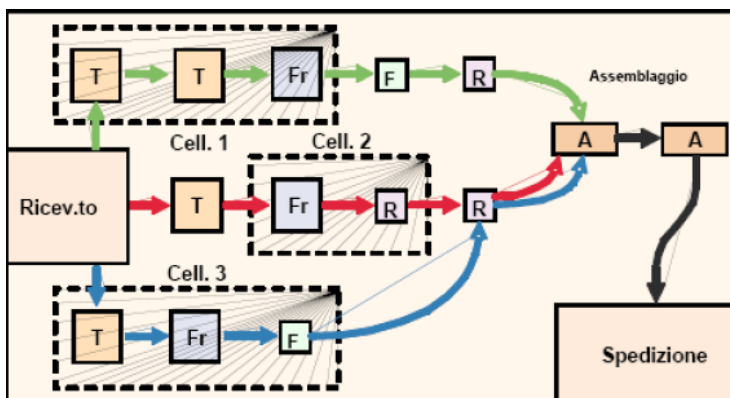


Immagine 10 : Produzione in celle

La **GROUP TECHNOLOGY** è un approccio aziendale, la cui idea di base è riuscire ad individuare quelle che sono le famiglie di prodotti all'interno della gamma aziendale, generalmente prevede l'attuazione di tre fasi:

1. **Razionalizzazione del progetto;** ci si concentra sui progetti e sui disegni tecnici e si cerca di trovare quelle che sono le comunanze a livello di progetto.

2. **Razionalizzazione del ciclo tecnologico;** ci si concentra su quelli che sono gli attributi di fabbricazione, si cercano similitudini sui cicli tecnologici e si può elaborare un ciclo standard rappresentativo della famiglia di prodotti.
3. **Razionalizzazione del processo e del layout;** vado a vedere quello che è il processo produttivo da realizzare, applicato ai macchinari che ho, ed eventualmente si si considera anche la posizione dei macchinari stessi.

Infine, per quanto riguarda la **produzione su commessa**, si tratta principalmente di prodotti di grandi dimensioni, con volumi molto bassi (praticamente unitari) e di grande varietà. Il layout tipico di questa produzione è la postazione fissa, ovvero il prodotto è “fermo”, mentre la manodopera ed i macchinari si muovono attorno ad esso (es. cantiere edile, navale, etc..).

Si ha la possibilità di far partecipare l’operatore all’interno del ciclo produttivo e permette grande flessibilità produttive nelle caratteristiche del prodotto. La produzione su commessa è tipica delle strategie ETO (Engineer to order) e MTO (Make To Order).

In genere le aziende che usano la strategia ETO consentono al cliente di scegliere qualsiasi cosa, quindi bisogna aspettare l’ordinazione prima di iniziare a processare e realizzare il progetto.

Mentre nel caso della MTO le aziende hanno un prodotto standardizzato che i clienti possono personalizzare in diversi modi, quando il cliente effettua l’ordine si può iniziare immediatamente utilizzando i progetti già esistenti.

In figura 2 è rappresentato un tipico layout a postazione fissa, ovvero un cantiere aeronautico.



Immagine 11 : Produzione su commessa

2.2 Dimensionamento Impianto

Come si dimensiona un impianto?

Metodo dei calcoli diretti

Il dimensionamento di un impianto industriale ha due obiettivi principali:

1. Calcolare le potenzialità di stadio/di reparto Q_j [pz/h];
2. Calcolare il numero di macchinari necessari all’impianto;

Consideriamo uno stadio generico dell'impianto j con una certa quantità in uscita Q_{u_j} .

Sapendo che si vuole garantire in uscita Q_{u_j} , si vuole determinare la potenzialità produttiva a cui far funzionare lo stadio j .

Si considerano quattro coefficienti:

k_1 coefficiente di scarto, durante l'esecuzione dello stadio dei pezzi vengono scartati;

$$Q_{u_j} = Q_j - S_j = Q_j - p_j Q_j = Q_j(1 - p_j) = Q_j(k_1)_j$$

con $S_j = p_j Q_j$

k_2 coefficiente di disponibilità, disponibilità effettiva dell'impianto quando questo non è in guasto;

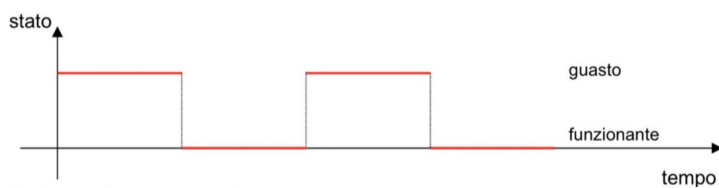


Immagine 12 : Stato di funzionamento/guasto

$$k_2 = \frac{\text{uptime}}{\text{uptime} + \text{downtime}}$$

k_3 coefficiente di efficienza degli operatori:

- pause degli operatori;
- ritmi di lavoro diversi tra operatori;
- ritmi di lavoro diversi durante la giornata;

$$k_3 = 100\% \text{ se lo stadio è automatico, } k_3 = 85\% \text{ se ha OP (in generale);}$$

k_4 coefficiente di utilizzo, considera solo il tempo di produzione rispetto al tempo totale in cui lo stadio è in funzione. È il tempo effettivo di produzione:

$$k_4 = \frac{\text{production time}}{\text{uptime}}$$

La potenzialità di stadio Q_j è quindi:

$$Q_j = \frac{Q_{u_j}}{(k_1 k_2 k_3 k_4)_j} = \frac{Q_{u_j}}{\prod_{i=1}^4 (k_i)_j} = \frac{Q_{u_j}}{\eta_j} \text{ con } \eta_j \text{ rendimento dello stadio } j$$

In una linea sincrona:

$$Q_j = \frac{Q_{j+1}}{\eta_j} = \frac{Q_{j+1}}{(\prod_{i=1}^4 k_i)_j}$$

In una linea asincrona:

$$Q_j = \frac{Q_u / \prod_{s=j+1}^n (k_1)_s}{\eta_j} = \frac{Q_u / \prod_{s=j+1}^n (k_1)_s}{(\prod_{i=1}^4 k_i)_j}$$

Nota t_j (tempo nominale impiegato dallo stadio j per lavorare un pezzo $[min/pz]$, $[s/pz]$), posso calcolare il numero di macchinari per ogni stadio j :

Numero macchinari ideale:

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

Numero macchinari reale:

$$n_j = [n'_j]$$

Nota il numero macchinari è possibile calcolare il coefficiente di utilizzo teorico e reale di ogni stadio:

Coefficiente utilizzo teorico dello stadio:

$$u_{t,j} = \frac{n'_j}{n_j}$$

E della linea:

$$U_t = \frac{\sum u_{t,j} n_j}{\sum n_j}$$

Coefficiente utilizzo reale:

$$u_{r,j} = u_{t,j} k_{4,j}$$

E della linea:

$$U_r = \frac{\sum u_{r,j} n_j}{\sum n_j}$$

2.3 Efficienza linee automatizzate – l'indice OEE & TPM

L'**OEE**, Overall Equipment Effectiveness (efficienza generale dell'impianto) è uno degli strumenti della **TPM**, Total Productive Maintenance (manutenzione produttiva), una tecnica che si è andata sviluppando sulla spinta del Toyota Production System durante la IV generazione (dal 2000 circa in Europa).

L'OEE è un indicatore che rappresenta il rendimento globale di una risorsa produttiva o di un insieme di risorse. Semplicemente identifica la percentuale di tempo che è produttiva, un OEE del 100% (impossibile nella realtà), significa che produciamo soltanto pezzi buoni senza nessuna fermata.

Obiettivo: azzerare guasti e difetti dell'impianto.

Consiste nell'implementazione di un mix di tecniche che vanno dall'analisi RAM, alla scelta delle politiche manutentive, alla gestione dei ricambi, alla pianificazione degli interventi e si basa sul coinvolgimento totale degli operatori con attività di manutenzione autonoma e gruppi di lavoro.

I risultati della **TPM** si misurano in base all'aumento dell'indice **OEE**.

La **TPM** si articola su cinque pilastri:

- 1) Miglioramento delle prestazioni (OEE), riducendo le perdite;
- 2) Manutenzione autonoma;
- 3) Manutenzione programmata;
- 4) Formazione ed addestramento;
- 5) Gestione dello start-up dei macchinari;

Ad essi il **JIPM** (Japan Institute of Plant Management) ha aggiunto altri tre pilastri:

- 6) Manutenzione per la qualità;
- 7) TPM negli uffici;
- 8) Sicurezza ed ambiente (+ salute);

Come si calcola?

Possiamo scomporre l'OEE in tre parti:

- **disponibilità;**
- **efficienza della produzione;**
- **tasso di qualità.**

Disponibilità: prende in considerazione qualsiasi fenomeno che genera inattività degli impianti, ovvero un fermo macchina programmato e non programmato, intendendo proprio tutti quei fermi che non sono stati previsti all'interno del programma di manutenzione, interventi a guasto avvenuto, fermi per regolazioni, set-up, start up/shutdown, pulizia macchine;

$$A(t) = \frac{PT}{AT} = \frac{AT - T_{fermo}}{AT}$$

Efficienza della produzione: questo parametro misura perdite più difficili da misurare principalmente dovute a microfermate e rallentamenti caratterizzati da un basso tempo di fermo linea ma una elevata frequenza di accadimento;

$$PE(t) = \frac{\text{Production Capacity}}{\text{Actual Production}}$$

Tasso di qualità: pezzi difettosi prodotti nella fase di avviamento (start up) in molti casi necessari per portare le macchine alle condizioni operative ottimali; scarti durante il processo produttivo e rilavorazioni per errori umani; difetti sui materiali o da malfunzionamenti di impianti riducono la quantità di pezzi totali prodotti secondo le specifiche di qualità;

$$QR(t) = \frac{\text{Actual production}}{\text{On spec Production}}$$

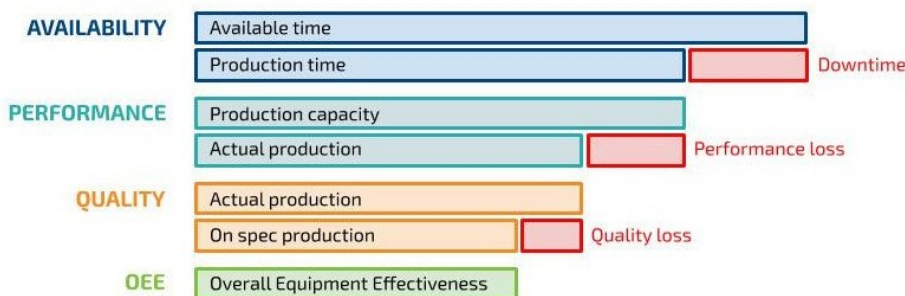


Immagine 13 : OEE

Un modo per calcolarlo è il seguente:

$$OEE = A(t) * PE(t) * QR(t)$$

Dove:

- **A:** disponibilità (Availability);
- **PE:** efficienza della produzione (Production Efficiency);
- **QR:** tasso di qualità (Quality Rate);
- **t:** intervallo di tempo per il quale viene condotta l'analisi;

Per il calcolo dell'OEE della nostra linea è stato scelto un metodo più semplice:

$$OEE = \frac{PzConformi * TstdLav}{SecondiDisponibili}$$

- TstdLav = Tempo standard di lavoro

Six big losses

Le sei grandi perdite sono un modo molto efficace per categorizzare le perdite basate sulle macchine: arresti non pianificati, arresti pianificati, cicli lenti, difetti di produzione e difetti di avviamento.

Originare da Seiichi Nakajima, un cittadino giapponese e pioniere del sistema di manutenzione produttiva totale, categorizzano le perdite di produttività dal punto di vista dell'attrezzatura, forniscono un ulteriore livello di dettaglio alle perdite dell'OEE.

Efficacia complessiva dell'attrezzatura	Le sei perdite raccomandate	Le sei perdite Tradizionali
Perdite di Disponibilità	Fermate non pianificate	Guasti Macchina
	Fermate pianificate	Setup e regolazioni
Perdite di efficienza	Micro-fermate	Tempi inattivi e fermate minori
	Cicli lenti	Riduzione di velocità
Perdite di qualità	Difetti di produzione	Difetti di produzione
	Difetti di avviamento	Difetti d'avviamento
OEE	Tempo completamente produttivo	Tempo Produttivo

Tabella 1 : Six big losses

1. **Fermate non pianificate:** sono periodi di tempo significativi in cui i macchinari dovrebbero essere in funzione ma a causa di un evento non pianificato non lo sono. Esempi la manutenzione non pianificata, mancanza di operatori o materiali, macchinari bloccati a valle e guasti agli utensili;
2. **Fermate pianificate:** sono periodi di tempo in cui i macchinari dovrebbero essere in funzione ma a causa di un evento pianificato non lo sono. Esempi sono la pulizia del macchinario, manutenzione programmata e ispezione qualità;
3. **Micro-fermate:** si verificano quando il macchinario si ferma per un breve periodo. Questi arresti sono spesso cronici, il che può rendere gli operatori in qualche modo ciechi al loro impatto. Esempi sono pulizia rapida periodica, sensori disallineati o bloccati, problemi di progettazione dell'attrezzatura;

4. **Cicli lenti:** si verificano quando l'attrezzatura funziona più lentamente del tempo di ciclo ideale. Esempi sono macchinari sporchi o usurati, scarsa lubrificazione, materiali di bassa qualità, inesperienza dell'operatore;
5. **Difetti di produzione:** sono pezzi difettosi prodotti durante la produzione a regime. Questo comprende anche parti che possono essere rilavorate, poiché l'OEE misura la qualità dal punto di vista del rendimento del primo passaggio;
6. **Difetti d'avviamento:** sono parti difettose prodotte durante l'avvio della macchina fino al raggiungimento della produzione a regime;

3 PROGETTO

3.1 Introduzione

L'obiettivo principale della tesi è quello di dimensionare i buffer interoperazionali della linea con lo scopo di massimizzare l'Overall Equipment Effectiveness (OEE) attraverso la simulazione.

Per la realizzazione dell'obiettivo è stato usato un approccio simulativo ad eventi discreti attraverso l'utilizzo del software Anylogic. Per la produzione di un importante prodotto per la cura del diabete è stata realizzata una linea automatizzata di produzione composta da nove stazioni, posizionate nel seguente ordine :

1. Reset Tube assembler
2. Pointer printer 1
3. Pointer printer 2
4. Torque Spring Assembler
5. Scale Drum Assembler
6. Dial Assembler
7. Clutch Assembler
8. Piston Rod Assembler
9. Nut Assembler
10. Packer

Ogni stazione produttiva è collegata in serie alla successiva ad eccezione della seconda stazione, la quale presenta due macchine che lavorano in parallelo (Pointer printer 1 e 2).

La linea presenta quattro buffer interoperazionali: B1, B2, B3, e B4. Essi rappresentano dei punti di accumulo dove i componenti si raggruppano e aspettano di essere processati dalle macchine successive.

Sono proprio questi quattro buffer che verranno presi in esame e sottoposti ad uno studio di dimensionamento.

Di seguito viene riportato lo schema di massima della linea:

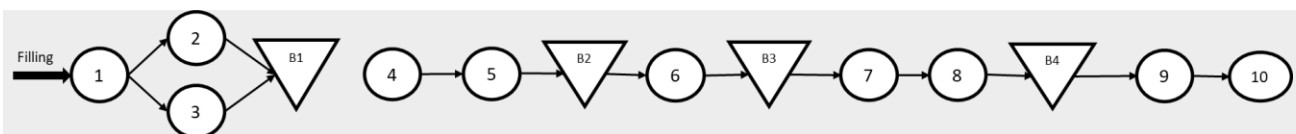


Immagine 14 : Schema di massima della linea

3.2 Dati Iniziali

È stato fornito un file di dati contenente in una prima parte la tabella descrittiva di tutte le macchine indicandone la velocità nominale, il downtime medio orario e il tipo di distribuzione che hanno i tempi di fermo delle macchine non critiche.

Dettagli linea di produzione						
#	Macchina	v nominale		Downtime orario medio [s]		
		[pz/h]	[s/pz]	μ	σ	
1	Reset Tube assembler	300	12,00	80	10	distribuzione normale
2	Pointer printer 1	150	24,00	60	5	distribuzione normale
3	Pointer printer 2	150	24,00	15	1,8	distribuzione normale
4	Torque Spring Assembler	300	12,00	database		
5	Scale Drum Assembler	303	11,88	100	5	distribuzione normale
6	Dial Assembler	320	11,25	database		
7	Clutch Assembler	305	11,80	database		
8	Piston Rod Assembler	310	11,61	database		
9	Nut Assembler	300	12,00	105	15	distribuzione normale
10	Packer	300	12,00	100	10	distribuzione normale

Tabella 2 : Dettagli linea

Per modellare un downtime medio orario è stato utilizzato un TTF su tempo assoluto descritto da una distribuzione normale con $\mu=3600$ e $\sigma=50$.

Una tabella descrittiva riguardante la parte dei buffer interoperazionale e le loro capacità:

Buffer	Capacità [pz]
B1	20
B2	10
B3	10
B4	10

Tabella 3 : Dettagli buffer

E per finire una tabella relativa alla validazione:

Validazione	
Output medio linea (pz/h)	29 700
OEE	88,4%

Tabella 4 : Dettagli Validazione

La seconda parte riguarda esclusivamente le macchine critiche. Nel file era presente un database in cui sono state registrate tutte le micro-fermate (specificando data, turno, orario e durata) avvenute nel corso dei due turni di lavoro giornalieri di 8 ore in un periodo complessivo di 23 giorni.

Le macchine critiche sono definite in questo modo in quanto sono le stazioni che hanno accumulato più micro-fermate durante il periodo in analisi.

3.3 Obiettivo del progetto

L'obiettivo principale della tesi è quello di massimizzare l'utile da parte di un'azienda e di conseguenza anche l'Overall Equipment Effectiveness (OEE) attraverso la simulazione. Per far sì che una linea di produzione sia efficiente possono essere attuate varie metodologie di miglioramento che possono portare però a scontrarsi con onerosi investimenti in termini di macchinari o operatori. Uno dei fattori principali che incidono sul funzionamento di una linea di produzione è la presenza di buffer interoperazionali tra le stazioni produttive.

Il corretto dimensionamento dei buffer nelle linee automatizzate è cruciale per garantire un'elevata efficienza dell'impianto, in quanto questi "polmoni" tra i vari macchinari riducono notevolmente l'impatto delle microfermate e consentono un funzionamento continuo della linea, impattando direttamente sull'OEE.

Nell'ottica di miglioramento dell'efficienza di un impianto automatizzato, in termini di OEE, tale progetto ha l'obiettivo di dimensionare i buffer più critici di una linea di produzione di farmaci attraverso la simulazione ad eventi discreti. Tale tecnica non solo consente di valutare vari scenari ma anche di calcolare per ognuno il relativo OEE, in modo da fornire tutti gli elementi per una corretta analisi costi-benefici.

Il metodo che è stato utilizzato in questo progetto è il metodo di simulazione ad eventi discreti.

Per il raggiungimento di questo scopo è stata effettuata inizialmente un'analisi approfondita sui dati della linea, che una volta inseriti all'interno del software di simulazione permettono di avere più corrispondenza possibile al caso reale.

3.4 Manutenzione dei sistemi di produzione

La manutenzione è la funzione aziendale che ha la supervisione di tutti gli impianti di produzione, degli impianti di servizio e che deve pianificare e realizzare gli interventi a scopo di garantire la potenzialità nominale del processo produttivo minimizzando i tempi di fermo.

Si definisce come guasto: l'evento di cessazione dell'attitudine di un'entità a svolgere la specifica funzione richiesta. Pertanto, il guasto si configura come un evento in grado di modificare lo stato di un'entità da quello di buon funzionamento a quello di avaria.

Si definisce affidabilità $R(t)$ di un componente o sistema la probabilità che tale componente o sistema funzioni senza guastarsi per un certo tempo "t" ed in predeterminate condizioni ambientali.

Si supponga di mettere in prova, a partire dal tempo $t=0$ e per T periodi, N componenti del medesimo tipo e si supponga di trovare al termine della prova, che N_g pezzi si sono guastati mentre N_f pezzi sono ancora funzionanti

$$N = N_f + N_g$$

Si definisce l'affidabilità al tempo "t" come:

$$R(t) = \frac{N_f(t)}{N}$$

Specularmente l'Inaffidabilità del generico componente $F(t)$ si definisce come la probabilità che il componente si guasti prima di "t", quindi è il complemento ad uno di $R(t)$.

$$F(t) = N_g(t) / N = 1 - R(t)$$

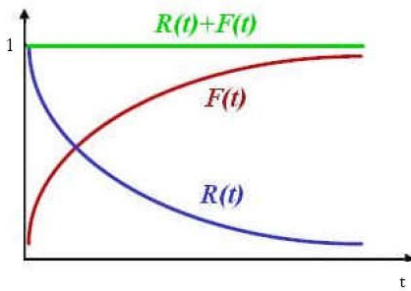


Immagine 15 : Affidabilità & Inaffidabilità

Funzione densità di probabilità di guasto

E' la funzione $f(t)$ tale che la probabilità che un componente messo in prova al tempo $t=0$ si guasti esattamente tra t e $t+dt$ sia proprio $f(t)dt$

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N} * \frac{dN_g(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

Quindi:

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

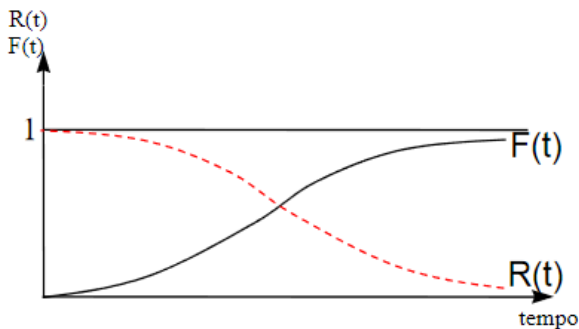


Immagine 16 : Affidabilità e Inaffidabilità in funzione del tempo

Tasso di guasto condizionato

Il tasso di guasto condizionato $\lambda(t)$ è la probabilità che un'entità, che al tempo t si trovi in buon funzionamento, si guasti in un tempo compreso tra t e $t+dt$

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_f(t)} \cdot \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{1}{N_f(t)} \cdot \frac{N}{N} \cdot \frac{dN_g(t)}{dt} = \frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$$

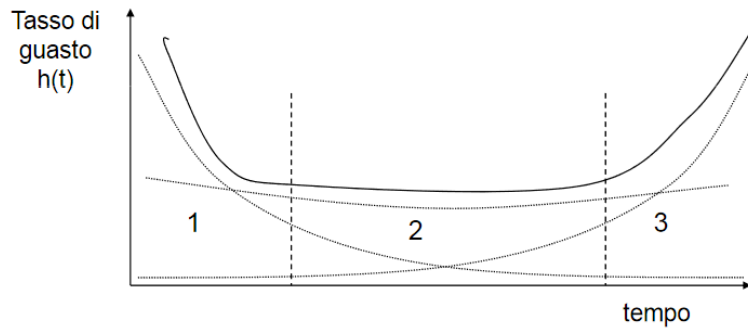
Quindi:

$$\frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda(t)dt$$

$$f(t) = \lambda(t) * R(t)$$

Bath Tube

La Bath tube è una curva che descrive la vita dei componenti.



- 1 – **Mortalità Infantile** – Guasti Precoci
- 2 – **Vita Utile** – Guasti Accidentali o Casuali
- 3 – **Vecchiaia** – Guasti di Usura

Immagine 17 : Bath tube

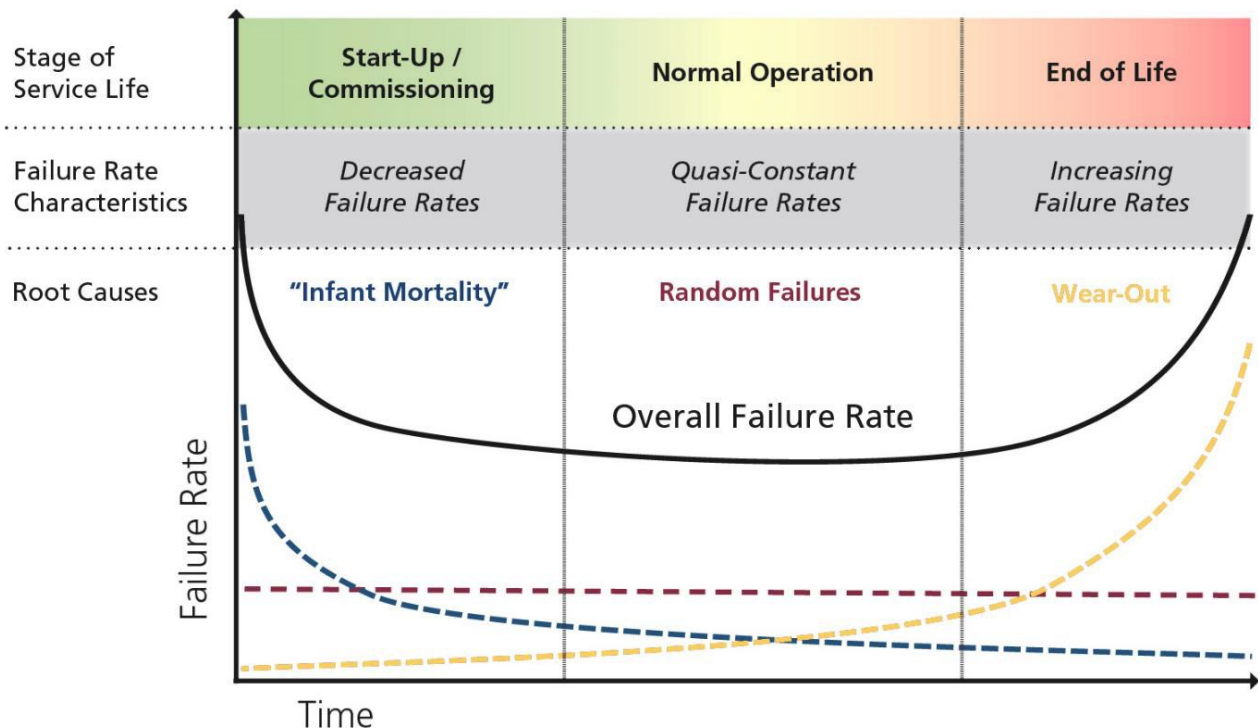


Immagine 18 : Bath tube dettagliata

Tale funzione rappresenta la frequenza con la quale si guastano i componenti e si misura in percentuale di guasti (rapportata al numero di componenti ancora in vita) per unità di tempo.

Il diagramma in figura assume una caratteristica forma a "vasca da bagno" ("bathtub curve") che consente di visualizzare in modo chiaro la precedente classificazione in guasti infantili, casuali e per usura.

Il periodo dei guasti infantili corrisponde al tratto iniziale della curva (periodo di rodaggio) al quale corrisponde un tasso di guasto decrescente: la frequenza dei guasti, che è inizialmente elevata perché si guastano tutti quei componenti che risultano più "deboli" a causa di errori di costruzione o di montaggio, tende a decrescere rapidamente e si stabilizza su un valore minimo. Questo valore

minimo del tasso di guasto si mantiene pressoché costante per un intervallo di tempo al quale si dà il nome di “vita utile”, caratterizzato da guasti solo di tipo casuale.

Il periodo di vita utile dei componenti si può considerare concluso quando cominciano ad intervenire fenomeni di usura, a causa dei quali la frequenza dei guasti tenderà ad aumentare mettendo rapidamente fuori uso tutti i componenti sopravvissuti ai precedenti periodi di esercizio.

La figura evidenzia che durante il periodo di rodaggio non sono presenti solo guasti infantili ma anche guasti di tipo casuale, i quali si sovrappongono ai precedenti; allo stesso modo nel periodo finale dei guasti per usura a questi si sovrappongono ancora i guasti di tipo casuale.

La funzione di Weibull

La funzione di Weibull è una funzione a due parametri che, grazie alla sua duttilità, viene usata per esprimere la funzione affidabilità sia durante la fase dei guasti infantili, sia durante la vita utile.

È caratterizzata da due parametri α e β positivi:

- α esprime la vita caratteristica (tempo);
- β parametro di forma (numero puro), generalmente compreso tra 0.5 e 5. Se < 1 , la funzione è monotona decrescente, se > 1 , la prima cresce e poi decresce;

Dopo il guasto di un componente ne è richiesta la riparazione.

$$y(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

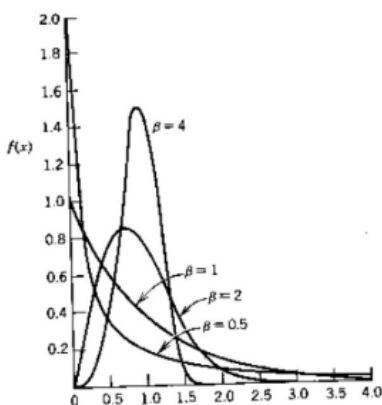


Immagine 19 : Funzione di weibull

Il tempo di riparazione o TTR (Time To Repair) si articola in :

- **tempo di diagnosi** : identificazione, localizzazione e individuazione della causa del guasto;
- **tempo di set-up** : individuazione del metodo di riparazione, tempo logistico e amministrativo;
- **tempo attivo di riparazione**;
- **tempo di ripristino**.

Definiamo con Manutenibilità, l'attitudine di un oggetto espressa dalla probabilità che le operazioni di ripristino della funzionalità vengano eseguite in uno stabilito intervallo di tempo t per date procedure e risorse.

I principali indici di manutenibilità sono i seguenti:

- **MTTR (Mean Time To Repair)** è costituito dal valore medio del TTR su un campione significativo di tali valori. Il valore di MTTR è un indice di manutenibilità dell'entità.

- **MDT** (Mean Down Time) è costituito dal valore medio del down Time su un campione significativo di tali valori. Sia in condizioni di intervento a guasto che di intervento preventivo esso tiene conto dei ritardi amministrativi e logistici considerando in tal modo tutti i tempi che possono incidere sull'indisponibilità dell'entità.

Affidabilità di sistemi Riparabili

Affidabilità di sistemi riparabili – manutenibilità

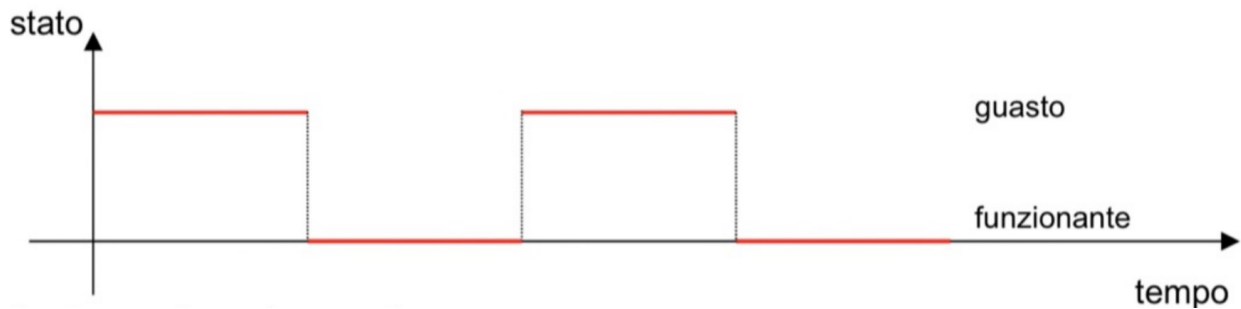


Immagine 20 : Stato di funzionamento/guasto

t_b = tempo al prossimo guasto;

t_g = tempo di riparazione;

Ipotesi: riparazione = "good as new";

$P(t_b < t) = F(t) = 1 - R(t)$ inaffidabilità

$P(t_g < t) = G(t)$ manutenibilità

$z(t)$ = tasso di riparazione, probabilità che la riparazione venga terminata tra t e $t + dt$;

$z(t) = costante = \mu$

$G(t) = 1 - e^{-\mu t}$ manutenibilità

$MTTR = \frac{1}{\mu}$ mean time to repair

E' importante distinguere a questo punto tra due tipi di sistemi:

1. Sistemi non riparabili, costituiti da oggetti o componenti non ripristinabili, il passaggio dallo stato di funzionamento allo stato di guasto è irreversibile. In questo caso si parla di affidabilità in senso stretto.
2. Sistemi riparabili, sono costituiti da oggetti o componenti riparabili. In questo caso si ha l'alternanza casuale di intervalli di tempo in cui il sistema passa dallo stato di funzionamento allo stato di guasto. In questo caso si parla di disponibilità.

Si definisce Disponibilità di un componente la probabilità che esso funzioni senza guastarsi in un determinato e stabilito istante t con riferimento a ben precisate condizioni ambientali.

Nel caso di componenti riparabili ha più senso parlare di disponibilità che di affidabilità.

Il principale parametro di disponibilità è il tempo medio al ripristino MTTR ("Mean Time To Repair"): esso esprime il tempo medio che intercorre tra l'insorgenza di un guasto ed il completamento della sua riparazione.

Un parametro che dipende dai due precedenti è il tempo medio che intercorre tra due guasti, detto MTBF ("Mean Time Between Failure"), ed è ovviamente applicabile solo a componenti riparabili.

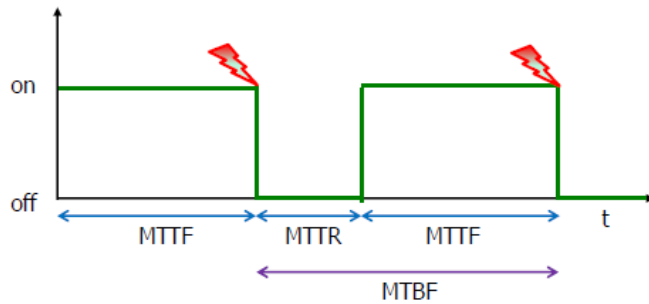


Immagine 21 : Mean time between failure

Nel campo dell'impianistica di processo, essendo i sistemi nella maggior parte ripristinabili, sulla base di un piano di manutenzione, si è voluti valutare il parametro di disponibilità. Nei sistemi non riparabili tali concetti coincidono.

Valgono le seguenti relazioni:

- $A(t) + Q(t) = 1$
- $A(t) \geq R(t)$
- Disponibilità $A(t)$: probabilità che al tempo t il componente si trovi nello stato di buon funzionamento;
- Indisponibilità $Q(t)$;

Alta disponibilità implica:

- alta affidabilità (bassa probabilità al guasto);
- alta manutenibilità (elevata probabilità di manutenzione);

$$A = k_2 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

4 COSTRUZIONE DEL MODELLO

4.1 Software AnyLogic

AnyLogic è un ambiente di modellazione virtuale dove è possibile creare prototipi di sistemi durante le fasi di studio, progettazione o sviluppo, attraverso cui esplorare aspetti e dettagli della progettazione o della implementazione dei relativi sistemi in modo semplice e privo di rischi.

Consente di programmare utilizzando il linguaggio Java, o, in alternativa, si può ricorrere ad uno stile di modellazione più rapido, basato sul drag-and-drop di elementi appartenenti alle librerie fornite.

Per la rappresentazione della linea sono stati utilizzate le seguenti assunzioni:

Il blocco Source



Immagine 22 : Blocco Source

ha la funzione di approvvigionamento, ovvero di creare le entità. Di solito è un punto di partenza di un modello. Esistono diversi modi per definire quando e quanti agenti devono essere generati. Nel nostro caso abbiamo specificato che l'arrivo è definito da un tempo di intervallo (Interarrival time) di 12 secondi, abbiamo poi specificato il valore di tale intervallo e che il primo prodotto entrerà in lavorazione all'avvio del modello (At model start). In alcuni casi ha senso utilizzare due o più blocchi Source per implementare modelli di arrivo complessivo.

Per rappresentare le varie stazioni/macchine è stato utilizzato il blocco Delay.

Il blocco Delay



Immagine 23 : Blocco Delay

Il blocco Delay nella linea svolge il compito di ritardare gli agenti per un determinato periodo di tempo (periodo di processo). Il delay time viene valutato dinamicamente, può essere stocastico, può dipendere dall'agente e da qualsiasi altra condizione. È possibile impostare la capacità del blocco Delay in modo tale da non permettere l'entrata ad altri agenti mentre è occupato. Solo una volta terminato il tempo di processo (Delay time) un'altra entità potrà avanzare.

I nostri Delay time sono i seguenti:

#	Macchina	Delay time [s/pz]
1	Reset Tube assembler	12,00
2	Pointer printer 1	24,00
3	Pointer printer 2	24,00
4	Torque Spring Assembler	12,00
5	Scale Drum Assembler	11,88
6	Dial Assembler	11,25
7	Clutch Assembler	11,80
8	Piston Rod Assembler	11,61
9	Nut Assembler	12,00
10	Packer	12,00

Tabella 5 : Tempi di processo

Il blocco Resource Pool



Immagine 24 : Blocco Resource pool

viene associato ad un blocco Delay. Definisce un insieme di unità di risorse che possono essere sequestrate e rilasciate dagli agenti utilizzando i blocchi del flowchart, come Seize, Release, Assembler e Service.

Qualsiasi unità risorsa può essere inattiva o occupata. Questo blocco raccoglie le statistiche di utilizzo, ovvero statistiche temporali continue sulla percentuale di unità occupate. È inoltre possibile raccogliere statistiche dettagliate sui tempi di inattività delle singole unità di risorse, ovvero il tempo trascorso da una determinata unità in manutenzione, interruzioni, guasti o in tempi di inattività personalizzati.

- In questo caso è stato definito che se non è possibile far avanzare nel flowchart l'entità che è appena stata processata all'interno del Delay allora essa verrà preservata all'uscita del Delay stesso;
- Inoltre, I TTF e TTR sono stati inseriti nelle macchine non critiche con delle distribuzioni normali (riportate nella tabella che segue). Per il calcolo dei TTF delle macchine critiche invece è stato considerato il tempo effettivo di funzionamento tra un evento di malfunzionamento e l'altro sottraendo il rispettivo TTR.

Di seguito viene riportata la tabella con i TTF medi orari delle macchine non critiche:

#	Macchina non critica	μ	σ	
1	Reset Tube assembler	80	10	distribuzione normale
2	Pointer printer 1	60	5	distribuzione normale
3	Pointer printer 2	15	1,8	distribuzione normale
5	Scale Drum Assembler	100	5	distribuzione normale
9	Nut Assembler	105	15	distribuzione normale
10	Packer	100	10	distribuzione normale

Tabella 6 : Distribuzioni macchine NON critiche

Per rappresentare i buffer interoperazionali è stato utilizzato il blocco **Conveyor**.

Il blocco Conveyor



Immagine 25 : Blocco Conveyor

Tale blocco ha la funzione di disaccoppiamento tra il macchinario a monte e quello a valle. Per determinare la capacità di tali conveyor abbiamo inserito due parametri. Il primo è la lunghezza del conveyor che è stata inserita nel main, mentre il secondo è l'ingombro componente inserito all'interno dell'agente stesso. Grazie proprio a questi due valori siamo in grado di conoscerne la capacità.

Di seguito riportiamo la tabella riassuntiva

Buffer	Capacità [pz]
B1	20
B2	10
B3	10
B4	10

Tabella 7 : Capacità buffer

Per quanto riguarda i blocchi **Seize** & **Release** servono a prendere e rilasciare un determinato numero di unità di risorse da un determinato ResourcePool. Tali risorse vengono inviate a una posizione specificata.

I blocchi Seize & Release

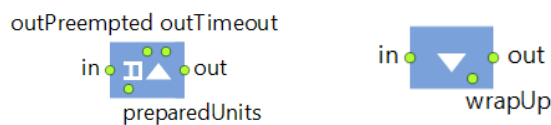


Immagine 26 : Blocco Seize & Release

Una volta concessa la risorsa, l'agente esce immediatamente dal blocco e utilizza il blocco **Release** per rilasciare le risorse. Tutte le risorse sequestrate devono essere rilasciate prima che l'agente venga eliminato.

Il blocco **Seize** inoltre incorpora un blocco **Queue** in cui gli agenti attendono le risorse. La risorsa viene richiesta per il primo agente in coda e, fino a quando non viene concessa, la richiesta per l'agente successivo non viene inviata.

La capacità della coda è l'unica indicazione che abbiamo inserito all'interno del blocco Seize, pari a 1. Per quanto riguarda il blocco Release non abbiamo fatto altro che collegarlo al corrispondente blocco seize.

Il blocco **Select Output** lo abbiamo utilizzato per rappresentare il lavoro in parallelo delle macchine "Pointer printer 1" e "Pointer printer 2". Il dispatching dei componenti tra Pointer printer 1 e Pointer printer 2 avviene seguendo questa logica: se la macchina 1 è libera, il componente viene processato dalla macchina stessa; altrimenti il componente viene processato dalla macchina 2).

Il blocco Select Output

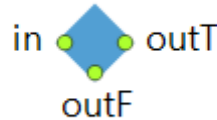


Immagine 27 : Blocco Select Output

In generale, questo blocco indirizza gli agenti in entrata a una delle due porte di output a seconda della condizione (probabilistica o deterministica). La condizione può dipendere dall'agente e da eventuali fattori esterni. Gli agenti non trascorrono tempo in questo blocco. Può essere utilizzato per ordinare gli agenti secondo un determinato criterio o per suddividere casualmente il flusso degli agenti.

Il blocco Sink



Immagine 28 : Blocco Sink

Smaltisce gli agenti. Di solito è un punto finale in un modello di processo

Altri Blocchi utilizzati all'interno della nostra flowchart sono i blocchi: **“restricted area start” & “restricted area end”**. Il primo contrassegna l'ingresso alla sezione del processo in cui si desidera limitare il numero massimo di agenti (nel nostro caso abbiamo limitato l'ingresso a 1 componente).

Tale area può avere un solo ingresso e un numero arbitrario di uscite, ognuna di queste deve essere contrassegnata con un oggetto che fa riferimento a questa RestrictedAreaStart. Il secondo invece contrassegna l'uscita da tale sezione.

Gli agenti non trascorrono tempo in questi blocchi.

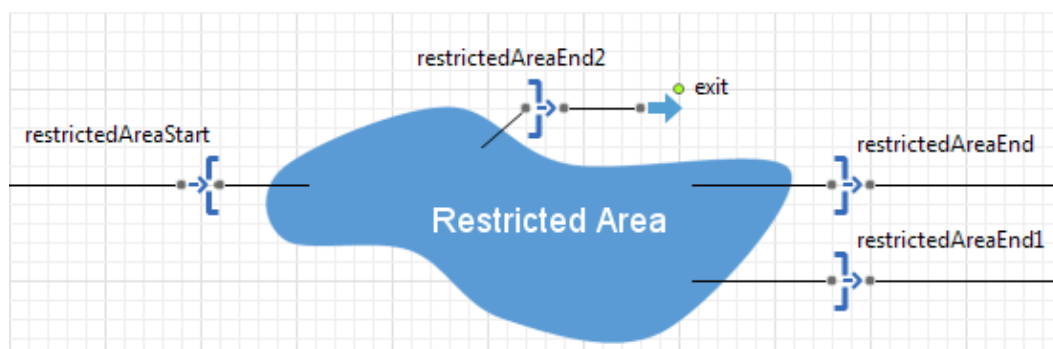


Immagine 29 : Blocco Restricted Area

4.2 Analisi distribuzione dei TTF e TTR delle macchine critiche

In questa prima parte dello studio per il dimensionamento dei buffer interoperazionali è stata compiuta un'analisi sulle distribuzioni dei "Time To Failure" (TTF) e "Time To Repair" (TTR) delle macchine critiche della linea, ovvero Torque Spring Assembler, Dial Assambler, Clutch Assembler e Piston road Assembler.

Lo studio dei TTF è stato effettuato tramite il programma Excel. Sono state create tante tabelle quante sono le tipologie di microfermata di ciascuna macchina. All'interno di queste tabelle abbiamo inserito in ordine cronologico di avvenimento tutti i vari errori che sono stati registrati nelle settimane di analisi, indicandone la data e la durata.

Di seguito viene lasciato un esempio di come sono stati calcolati i TTF:

Macchina	Codice fermata	Data	Turno	Ora	TTF
Clutch Assembler	Checking pointer	08/06/2015	6:00-14:00	08:49:00	30
Clutch Assembler	Checking pointer	08/06/2015	6:00-14:00	10:20:00	30

Tabella 8 : Esempio calcolo dei TTF

In questo caso il TTF è di 1:30:30 cioè il tempo che intercorre tra l'inizio del secondo errore e la fine del primo a cui è stato sottratto il TTR.

Inserimento nel modello delle distribuzioni ottimali nelle macchine critiche

Una volta ottenute tutte le tabelle dei TTF e dei TTR abbiamo proceduto a ricavare un andamento ideale che potesse rappresentare la cadenza di tali errori. Non avendo però casistiche a sufficienza per tutte le tipologie si è provveduto a definire per le macchine critiche delle Custom Distribution, ovvero è stata inserita come distribuzione delle micro-fermate la loro reale sequenza di avvenimento.

Questo tipo di distribuzione corrisponde esattamente alla distribuzione dei dati forniti e che quindi rappresentano al meglio il caso reale.

Queste custom distribution sono state poi richiamate nei downtime blocks, uno per ogni tipologia di microfermata. Questi blocchi rappresentano le manutenzioni, le riparazioni o qualsiasi altro tipo di attività che differisca dall'ordinario delle risorse definite dal blocco ResourcePool.

Questi downtime blocks sono stati poi associati alle rispettive resource pool delle macchine critiche.

La linea in esame è stata così realizzata e riportata nel software Anylogic attraverso il seguente flowchart:

4.4 Validazione del modello

Ultimata quindi la modellazione della linea e l'inserimento delle micro-fermate per le macchine critiche su Anylogic si è passati alla sua validazione. Questa fase è stata eseguita nella sezione "Parameter Variation" dove è stato possibile simulare il funzionamento della linea automatizzata.

L'output medio finale richiesto per la validazione era di 29 700 pezzi/settimana.

Inserendo le Custom Distribution, come distribuzione per le macchine critiche, nella fase di verifica della validazione della linea con 600 iterazioni e come tempo di simulazione 403200 [s] corrispondenti a una settimana lavorativa, si è ottenuto un output medio di: 29 649 pezzi/settimana.

Output & Grafici

Di seguito riportiamo lo "Steady-State chart" e la tabella dei valori riassuntiva.

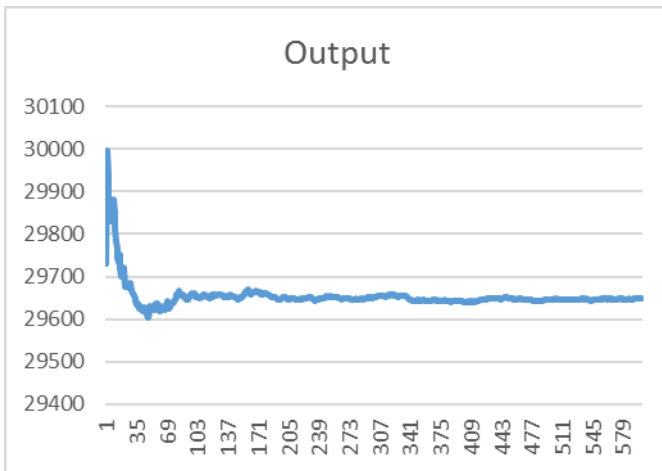


Grafico 1: Output finale

Output	
Media	29649,15
Errore standard	13,91
Mediana	29631,5
Moda	29486
Deviazione standard	340,76
Intervallo	2123
Minimo	28568
Massimo	30691
Conteggio	600
Livello di confidenza (95.0%)	27,32

Tabella 9 : Validazione Modello

Da questo grafico è possibile capire il numero di replicazioni dopo il quale lo "steady-state" è raggiunto, cioè abbiamo un output costante. Nel nostro caso possiamo dire che questo stato viene raggiunto dopo circa 350-400 replicazioni.

A seguito dei risultati ottenuti possiamo dire che il modello è stato correttamente validato.

5 DIMENSIONAMENTO DEI BUFFER

Tramite “Parameter Variation” abbiamo ricalcolato l’output dell’impianto aumentando le capacità dei buffer procedendo per step di 5 pezzi con 200 iterazioni per step.

Ordine di analisi delle lunghezze dei buffer: abbiamo iniziato l’ottimizzazione a partire dai buffer a monte della linea, cioè il buffer posto prima del Torque Spring Assembler. Abbiamo proseguito l’ottimizzazione andando a modificare il buffer successivo, cioè quello posto prima il Dial Assembler, proseguendo abbiamo modificato il buffer posto prima Clutch Assembler e per finire quello posto prima del Nut Assembler.

Premessa: non conoscendo i costi dell’aumento di lunghezza del buffer (e relativi problemi all’aumento dell’ingombro) e in generale la loro variazione in seguito alle modifiche effettuate, abbiamo deciso di scegliere le nuove lunghezze ottimizzate valutando indicativamente il rapporto “miglioramento output/aumento ingombri e costi”.

Buffer in entrata al Torque Spring Assembler

La capacità originaria di 20 pezzi è stata fatta variare fino a 60 pezzi, tenendo la capacità degli altri buffer invariata. Di seguito i risultati conseguiti:

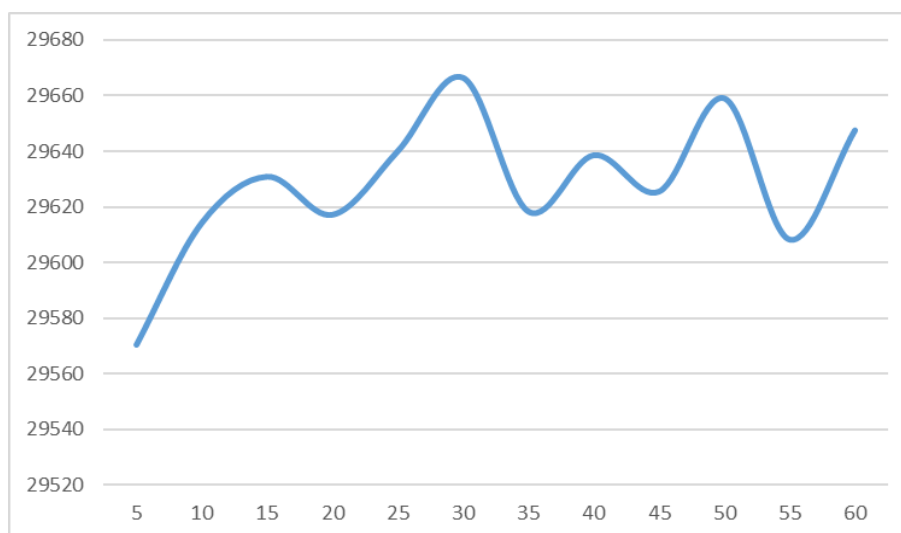


Grafico 2 : Variazione B1, 200 iterazioni per step.

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29570	29614	29631	29617	29640	29666	29618	29639	29625	29659	29608	29647

Tabella 10 : Variazione B1

Come si può vedere dal grafico, variando la capacità di questo buffer l’output finale non varia in maniera significativa. Abbiamo comunque deciso di aumentare la sua capacità a 30 pezzi per ottenere comunque un minimo aumento dell’output.

Buffer in entrata al Dial Assembler

La capacità originaria di 10 pezzi è stata fatta variare fino a 60 pezzi, è stata tenuta la capacità di 30 pezzi per il buffer in entrata al Torque Spring Assembler mentre è stata tenuta la capacità originaria per gli altri. Di seguito i risultati conseguiti:

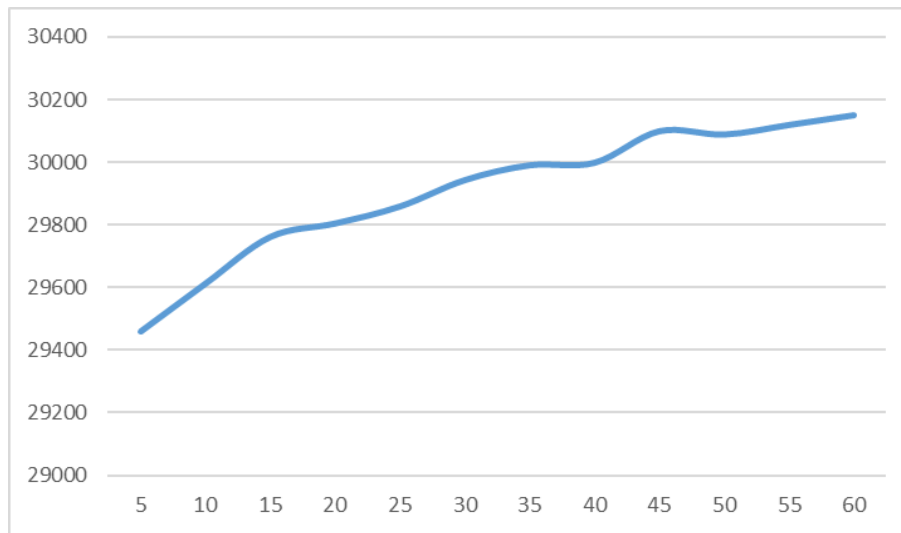


Grafico 3 : Variazione B2, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29460	29614	29763	29806	29860	29944	29991	29999	30100	30089	30120	30151

Tabella 11 : Variazione B2

In maniera contraria al grafico del buffer precedente qui possiamo notare un aumento quasi lineare dell'output finale rispetto all'aumento della capacità del buffer. Abbiamo deciso una capacità di 35 pezzi che comporta un aumento dell'output di quasi 400 pezzi.

Non è stata presa la capacità massima per qui abbiamo effettuato la simulazione perché a 60 pezzi, quasi il doppio della capacità scelta di 35, l'output sarebbe aumentato di soli 150 pezzi, valore che non giustificerebbe i costi e ingombri generati.

Buffer in entrata al Clutch Assembler

La capacità originaria di 10 pezzi è stata fatta variare fino a 60 pezzi, è stata tenuta la capacità aumentata per i buffer Torque Spring e Dial Assembler mentre è stata tenuta la capacità originaria per quello restante. Di seguito i risultati ottenuti:

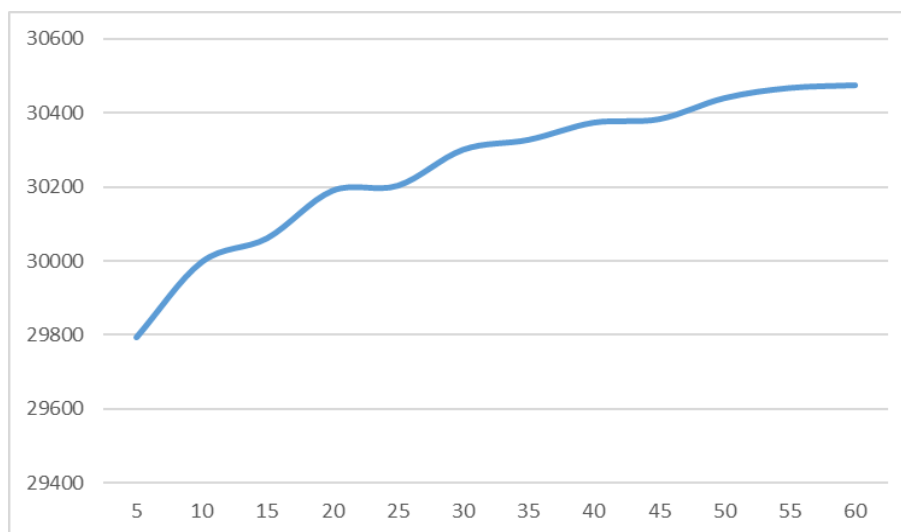


Grafico 4 : Variazione B3, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29793	29997	30061	30190	30203	30301	30327	30374	30383	30440	30467	30475

Tabella 12 : Variazione B3

Abbiamo deciso di aumentare la capacità a 40 pezzi con un aumento dell'output di 350 pezzi circa. Per lo stesso ragionamento del buffer precedente non è stata presa la capacità che comporta l'output massimo, cioè l'aumento dell'output ottenuto non avrebbe giustificato l'aumento di capacità necessario.

Buffer in entrata al Nut Assembler

La capacità originaria di 10 pezzi è stata fatta variare fino a 60 pezzi, è stata tenuta la capacità originaria per i buffer precedenti. Di seguito i risultati ottenuti:

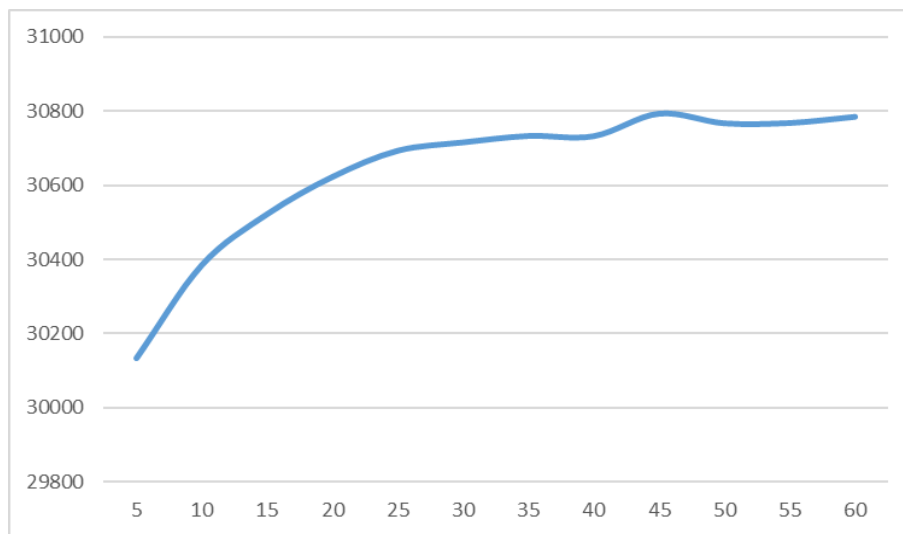


Grafico 5 : Variazione B4, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	30134	30386	30523	30624	30695	30717	30735	30734	30795	30769	30770	30786

Tabella 13 : Variazione B4

Abbiamo deciso di aumentare la capacità a 25 pezzi con un aumento dell'output di 300 pezzi circa. Come si può vedere dal grafico aumentare la capacità oltre questo numero non comporta aumenti dell'output significativi.

Output finale

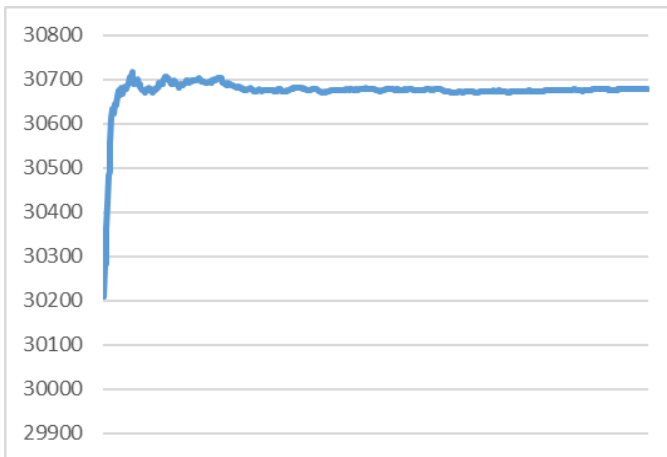


Grafico 6 : Output finale dopo ottimizzazione buffer

Output	
Media	30678,71
Errore standard	10,40
Mediana	30676
Moda	30577
Deviazione standard	254,79
Intervallo	1543
Minimo	29822
Massimo	31365
Conteggio	600
Livello di confidenza (95,0%)	20,43

Tabella 14 : Output dopo ottimizzazione

L'output finale dopo aver ottimizzato le dimensioni dei buffer risulta di 30 678 pezzi/settimana, ottenuto andando a modificare la dimensione di tutti i buffer della linea.

È stata effettuata anche una simulazione dove è stata lasciata invariata la dimensione del buffer in entrata al Torque Spring Assembler per verificare quanto realmente vada a impattare l'output finale.

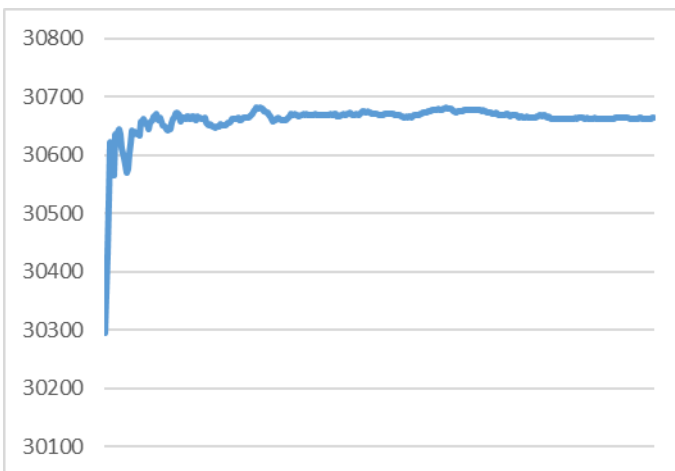


Grafico 7 : Output finale lasciando invariato B1, 600 iterazioni

Output	
Media	30674,54
Errore standard	10,73
Mediana	30680
Moda	30874
Deviazione standard	262,75
Intervallo	1613
Minimo	29816
Massimo	31429
Conteggio	600
Livello di confidenza (95,0%)	24,82

Tabella 15 : Output dopo validazione con B1 invariato

L'output finale lasciando invariata la dimensione del primo buffer è quindi 30 674 pezzi/settimana, probabilmente la sua dimensione era già ottimizzata. Per verificare questo sono state effettuate due simulazioni, una dove è stata diminuita la sua capacità a 10 pezzi, una dove è stata aumentata a 30 pezzi.

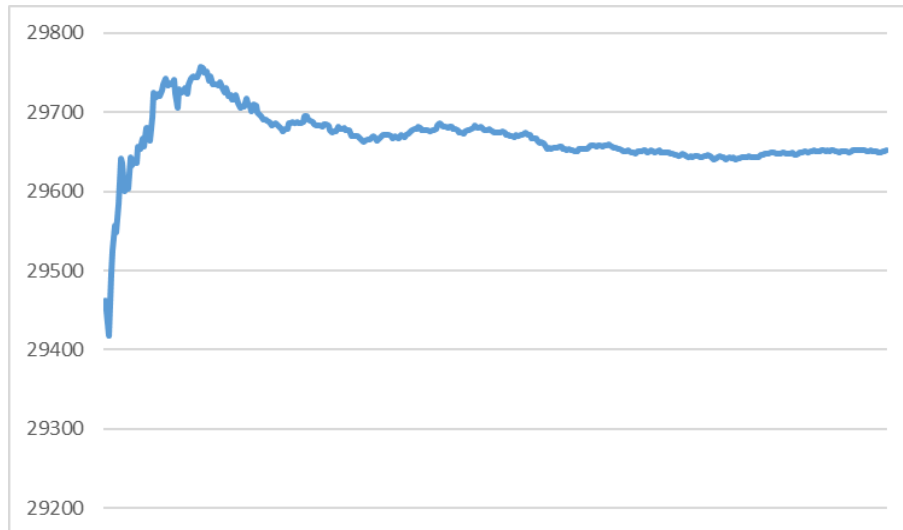


Grafico 8 : Output con capacità b1 di 10 pezzi, 400 iterazioni



Grafico 9 : Output con capacità B1 di 30 pezzi, 400 iterazioni

L'output diminuendo la capacità di questo buffer a 10 pezzi è di 29 651 pezzi/settimana, mentre aumentandola a 30 pezzi è di 29 659 pezzi/settimana. Possiamo quindi dire che modificare la sua capacità non comporta cambiamenti significati nell'output finale, è stato quindi deciso di lasciare la sua capacità invariata.

Aumentare la capacità di tre buffer in una singola operazione potrebbe risultare troppo costoso per l'azienda, è stata quindi presa in considerazione l'opzione di migliorare un singolo buffer e verificare l'output che questo comporta.

Non è stato considerato il buffer in entrata al Torque Spring Assembler visto che a 20 pezzi la sua dimensione è già ottimizzata.

Buffer in entrata al Dial Assembler

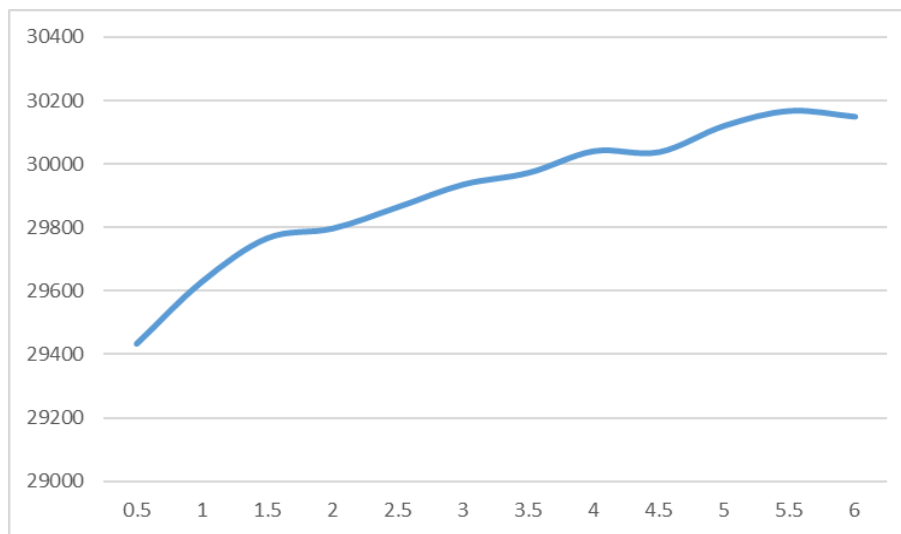


Grafico 10 : Variazione del solo B2, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29435	29631	29768	29798	29866	29937	29974	30042	30039	30122	30169	30150

Tabella 16 : Variazione solo B2

In questi casi dove è stato andato a ottimizzare un singolo buffer è stato deciso di prendere la capacità che comporta l'output massimo, senza compromessi.

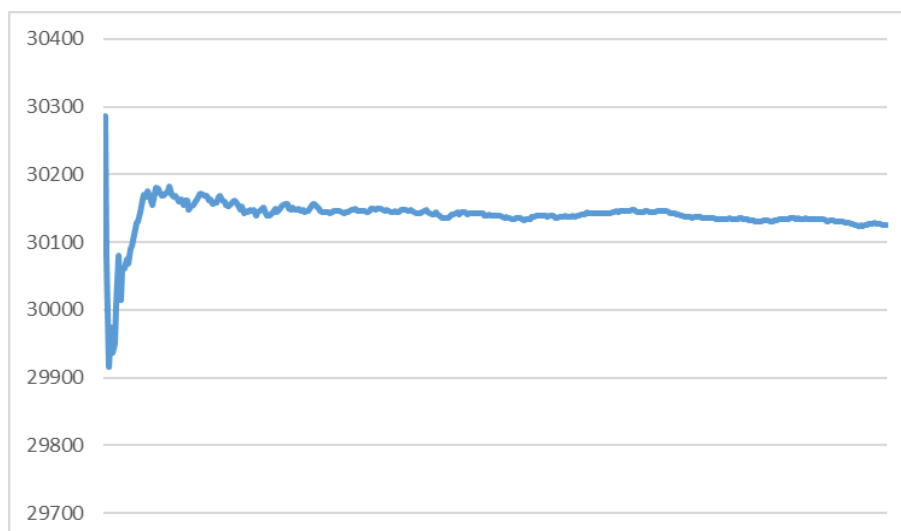


Grafico 11 : Output con capacità B2 di 55 pezzi, 400 iterazioni

L'output ottenuto andando a cambiare la capacità del solo buffer in entrata al Dial Assembler è di 30 126 pezzi/settimana.

Buffer in entrata al Clutch Assembler

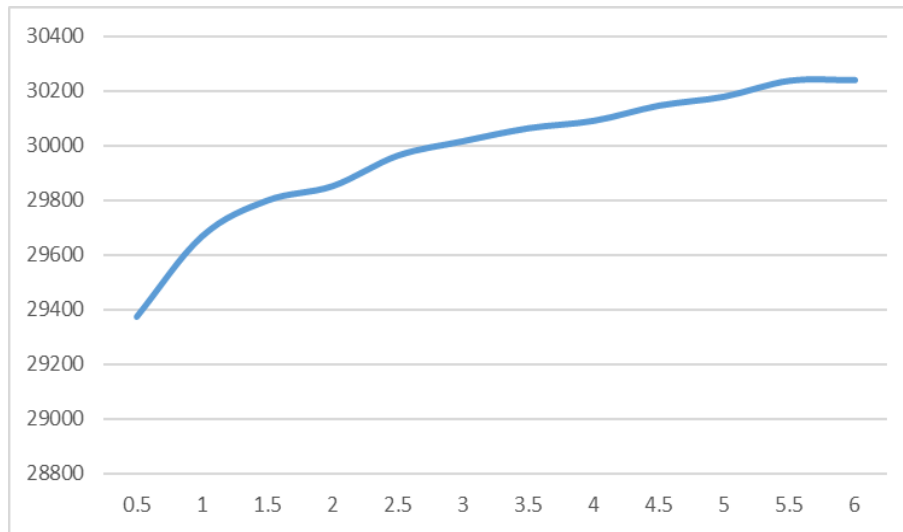


Grafico 12 : Variazione del solo B3, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29375	29669	29800	29853	29964	30016	30064	30091	30146	30179	30237	30239

Tabella 17 : Variazione solo B3

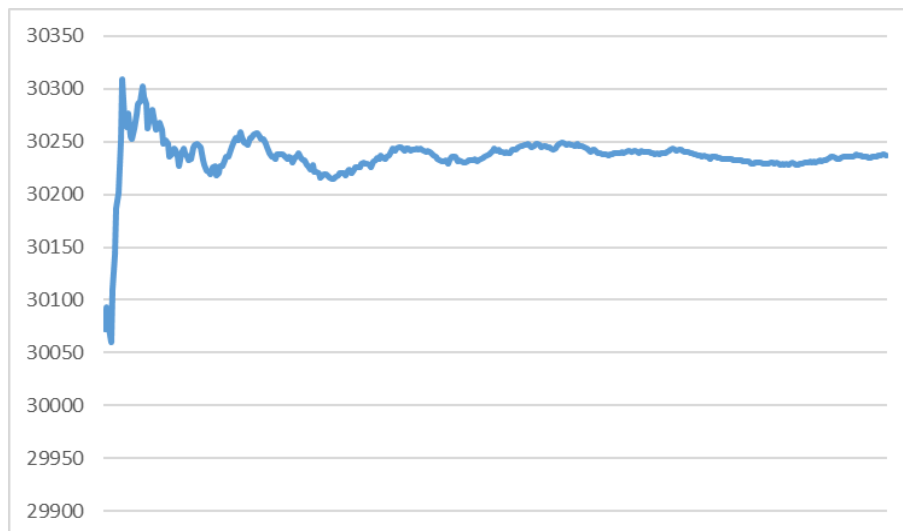


Grafico 13 : Output con capacità B3 di 55 pezzi, 400 iterazioni

L'output ottenuto andando a cambiare la capacità del solo buffer in entrata al Clutch Assembler è di 30 237 pezzi/settimana.

Buffer in entrata al Nut Assembler

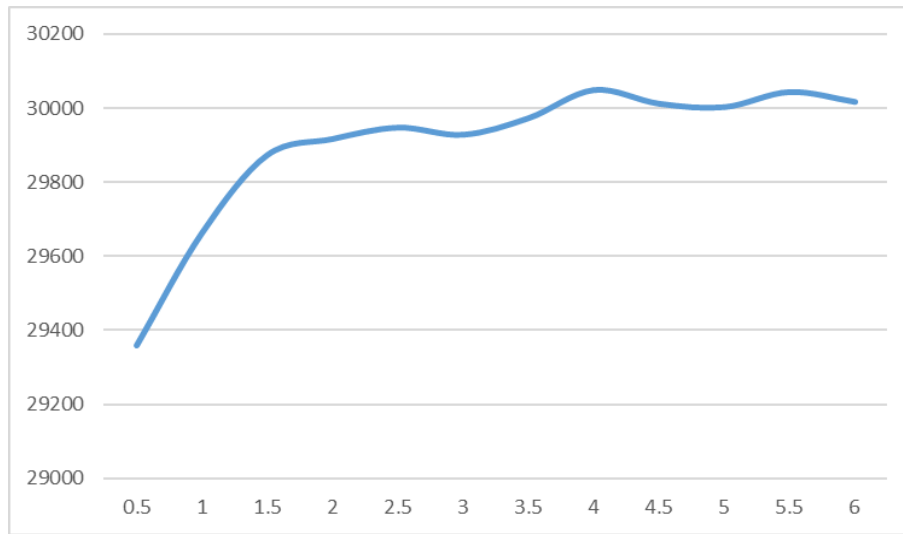


Grafico 14 : Variazione del solo B4, 200 iterazioni per step

Capacità	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Output	29357	29662	29874	29917	29948	29929	29974	30050	30013	30004	30045	30018

Tabella 18 : Variazione solo B4

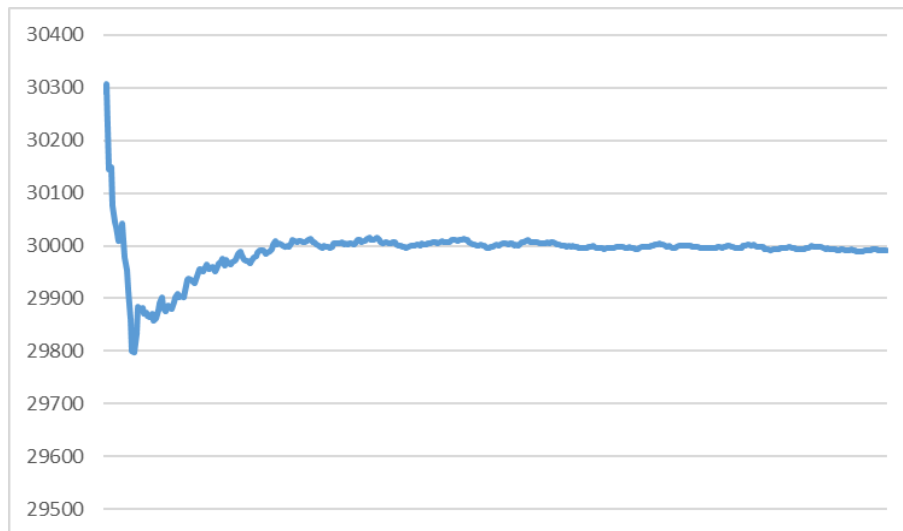


Grafico 15 : Output con capacità B4 di 40 pezzi, 400 iterazioni

L'output ottenuto andando a cambiare la capacità del solo buffer in entrata al Nut Assembler è di 29 991 pezzi/settimana.

6 CALCOLO OEE

$$OEE = \frac{PzConformi * TstdLav}{SecondiDisponibili}$$

Dalla simulazione si ottengono 29 649 pezzi conformi, cioè tutti quelli prodotti durante la settimana lavorativa, questo perché non sono presenti scarti.

Il tempo standard lavorativo è il tempo necessario per produrre questi pezzi, cioè 12 s.

I secondi disponibili nella settimana lavorativa, tenendo conto di 2 turni/gg da 8 ore ciascuno sono 403 200 s.

$$OEE = \frac{29649 * 12 [s]}{403200 [s]} = 0,8824$$

La linea ha quindi un OEE del 88,24%.

Aggiornando i dati con quelli ottenuti dopo aver migliorato i buffer, cioè pezzi conformi pari a 30 680 pezzi mentre tempo standard lavorativo e secondi disponibili uguali al caso precedente, otteniamo:

$$OEE = \frac{30674 * 12 [s]}{403200 [s]} = 0,9129$$

La linea con i buffer migliorati ha quindi un OEE del 91,29%.

Con lo stesso metodo possiamo calcolare l'OEE della linea dopo l'ottimizzazione dei singoli buffer:

Buffer	Capacità [pz]	Output [pz/sett]	OEE
B2	55	30126	89,66%
B3	55	30237	89,99%
B4	40	29991	89,26%

Tabella 19 : Calcolo OEE dopo la variazione dei singoli buffer

CONCLUSIONI

Attraverso il metodo di simulazione ad eventi discreti è stato ottenuto un output di 29 649 pezzi/settimana, con un errore dello 0,172% rispetto al caso reale.

Dopo l'ottimizzazione della dimensione dei buffer sempre attraverso il metodo di simulazione ad eventi discreti è stato ottenuto un output di 30 664 pezzi/settimana, quindi un aumento di circa 1 000 pezzi/settimana o in termini di percentuale un aumento del 13,84%.

Parlando in termini di OEE, la linea è passata da un utilizzo iniziale del 88,24% ad un utilizzo post-ottimizzazione del 91,29%, un aumento del 3,46% rispetto alla linea iniziale.

Questi miglioramenti sono stati ottenuti attraverso l'ottimizzazione delle dimensioni dei buffer, di cui di seguito vengono lasciate le loro capacità:

Buffer	Capacità iniziale	Capacità finale
B1	20	20
B2	10	35
B3	10	40
B4	10	25

Tabella 20 : Variazione ottimale

Questi miglioramenti sono stati effettuati senza tenere conto dei loro costi e dello spazio richiesto dai buffer, fattori che vanno presi in considerazione in una reale applicazione di questo studio.

Nel caso non sia possibile ottimizzare le capacità dei buffer in una singola operazione è stato svolto anche lo studio dell'ottimizzazione dei singoli buffer, ottenendo i seguenti risultati:

Buffer	Capacità [pz]	Output [pz/sett]	OEE	Aumento
B2	55	30126	89,66%	1,61%
B3	55	30237	89,99%	1,98%
B4	40	29991	89,26%	1,16%

Tabella 21 : Variazione ottimale singola

Come detto in precedenza il buffer B1 è stato lasciato invariato visto che la sua modifica non andava ad aumentare l'output finale.

Per ottenere un singolo punto OEE maggiore rispetto al caso iniziale, cioè un OEE del 89,24% che corrisponde ad un output di 29 984 pz/set, è necessaria una capacità di:

Buffer	Capacità [pz]
B2	36
B3	27
B4	36

Tabella 22 : Capacità ottimizzata singola

Quindi, nel caso si possa ottimizzare un solo buffer, è meglio dare priorità al buffer B3, sia nel caso in cui lo si possa migliorare fino alla capacità di 55 pezzi per l'output massimo sia che nel caso si voglia soltanto ottenere un aumento minore dell'OEE della linea.

Considerazioni sul metodo usato

I vantaggi derivanti dall'uso del software simulativo ad eventi discreti sono:

- Gli esperimenti svolti direttamente sul sistema reale possono essere molto onerosi. Uno studio di simulazione, invece, riduce drasticamente il rischio di costo perché consente di valutare in anticipo le conseguenze economiche, spesso legate a molti fattori non facilmente valutabili. È quindi possibile individuare gli errori prima che vengano commessi ed evitare così costi dovuti a scelte non ottimali.
- Nella realtà è impossibile sperimentare il sistema più di una volta senza che vi siano variazioni nei parametri iniziali. Nella simulazione, invece, si può ripetere la stessa sequenza di eventi alle stesse condizioni iniziali ma a partire da input differenti.
- Eseguire un test su un sistema reale può richiedere molto tempo mentre con la simulazione bastano pochi minuti per ottenere gli stessi risultati (Munaro, 2009-2010).

Non bisogna comunque dimenticare alcuni svantaggi:

- I risultati della simulazione possono dare solo un'indicazione di quello che sarà il comportamento del sistema;
- Lo sviluppo del modello potrebbe risultare molto oneroso, anche a causa del personale altamente qualificato richiesto, e i tempi di calcolo per effettuare una simulazione significativa potrebbero dilatarsi molto;
- L'output della simulazione deve essere interpretato per identificare la soluzione migliore e questo può comportare un'analisi di dati molto complessa (Munaro, 2009-2010).

7 BIBLIOGRAFIA

1. <https://www.netinbag.com/it/manufacturing/what-is-a-production-line.html>
2. M.Munaro, tesi di laurea 2009/2010: “Simulazione discreta con il software anylogic. Caratteristiche generali e applicazione ad uno studio oculistico”.
3. <https://spiegato.com/quali-sono-i-pro-ei-contro-della-produzione-in-catena-di-montaggio>
4. <https://www.techedgegroup.com/it/blog/oee-il-kpi-per-migliorare-i-processi-produttivi>
5. <https://anylogic.help/library-reference-guides/process-modeling-library/pml-blocks.html>
6. <https://simoneverza.it/oee-overall-equipementeffectiveness/#:~:text=L'OEE%20nasce%20in%20Giappone,volta%20dalla%20Fujitsu%20in%20Olanda.>
7. <https://tecnicodiproduzione.wordpress.com/2016/05/24/produzione-celle-group-technology/>
8. Impianti Industriale di A. Pareschi
9. Manutenzione dei sistemi di produzione di A.Regattieri e R.Manzini
10. Impianti Meccanici per l’industria di A.Pareschi
11. <https://www.configureone.com/company-news/eto-vs-mto/>
12. D. Battini, M. Faccio e A. Persona (2013) “Buffer design for availability: a new simulative study in case of infant and random failures”.
13. D. Battini, M. Faccio e A. Regattieri (2008) “Buffer size design linked to reliability performance: A simulative study”.
14. https://tesi.luiss.it/20341/1/190601_CONTI_GIANLUCA.pdf
15. http://tesi.luiss.it/24030/1/196051_BONORA_GIAN%20MARCO.pdf