

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria Gestionale**

**Tesi di Laurea Magistrale**

***Studio di una linea di produzione nel settore automotive  
interiors: industrializzazione di un copri tunnel e  
bilanciamento della linea***



**Relatori**

Prof. Franco LOMBARDI

Dott.sa. Giulia BRUNO

**Candidata**

Delice TCHANTCHOU TCHIWE

Firma del relatore (dei relatori)

-----

Firma della candidata

---

Se non puoi essere un pino sul monte, sii una saggina nella valle, ma sii la migliore, piccola saggina sulla sponda del ruscello.

Se non puoi essere un albero, sii un cespuglio.

Se non puoi essere un'autostrada, sii un sentiero.

Se non puoi essere il sole, sii una stella.

Sii sempre il meglio di ciò che sei.

Cerca di scoprire il disegno che sei chiamato ad essere. Poi mettiti con passione a realizzarlo nella vita.

(Martin Luther King)

---

## Sommario

introduzione .....	5
Capitolo 1 Leva: il contesto aziendale .....	7
I. La storia .....	7
II. La produzione .....	8
Oggetto di studio : il copri tunnel.....	12
Capitolo 2. Linea di produzione Manuale.....	16
I. Modellazione delle fasi di produzione :.....	16
1. Descrizione delle varie fasi del processo .....	17
2. Grafo delle operazioni .....	22
II. Configurazione della linea di produzione:.....	22
1. Determinazione della cadenza e del tempo ciclo.....	22
2. determinazione numero di operatori e di stazioni di lavoro.....	24
3. Calcolo delle statistiche sui tempi di realizzazione delle operazioni...	28
4. Bilanciamento della linea .....	30
5. Efficienza di bilanciamento.....	41
6. Obiettivo da raggiungere.....	42
Capitolo 3. Linea di produzione semi-automatica.....	44
1. Dimensionamento e Bilanciamento della linea ( Uso Macchina Incollaggio+ pressa) .....	47
a. Tempi degli operazioni e sequenza delle operazioni .....	47
b. Definizione delle stazioni.....	49
2. Monitoraggio della linea (bilanciamento dei carichi lungo la linea) .....	55
2.1. Trade-off tra dimensionamento e bilanciamento della linea.....	58
3. Valutazione economica .....	58

---

4. Efficienza di bilanciamento:.....	62
Capitolo 4. Linea di produzione automatica.....	63
1. Descrizione delle operazioni.....	63
2. linea di produzione asincrona .....	65
3. Determinazione dei tempi di ogni operazione .....	66
3.1. Cadenza e sequenza delle operazioni.....	67
4. Bilanciamento della linea automatica .....	68
4.1. Definizione delle varie stazioni:.....	69
4.2. La carta Uomo – Macchina .....	71
4.3. Necessità di buffer .....	75
5. Layout della linea.....	76
6. Valutazione economica .....	77
Capitolo 5 Analisi dei parametri prestazionali chiavi della linea .....	82
I. Processo produttivo .....	82
1. Diagramma produttivo .....	83
2. La performance del processo produttivo .....	84
II. Analisi dell’impianto di produzione: le potenzialità delle stazioni.....	94
1. Guida all’analisi e al miglioramento .....	94
2. Controllo e miglioramento continuo: Metodo Kaizen.....	101
conclusione.....	103
Bibliografia.....	104
RINGRAZIAMENTI .....	105

---

## Abstract:

*Questo lavoro è svolto nell'ambito di un progetto di "miglioramento continuo" avviato nel reparto Paratia dell'azienda Leva S.p.A con lo scopo di migliorare l'efficienza e le condizioni di lavoro lungo la linea produttiva del copri tunnel. Lo studio del processo produttivo del copri tunnel mira ad ottenere il giusto bilanciamento della linea e di ricavare / analizzare i parametri prestazionali chiavi della linea. In seguito ad una variazione considerevole della domanda nel tempo, la Leva ha dovuto fare degli investimenti in capitale partendo da una produzione totalmente manuale ad una produzione automatizzata. In quest'elaborato è stato giustificato la scelta di una tale decisione.*

---

## INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi, frutto di un periodo di stage svolto presso Leva S.p.A , tratta dello studio dell'industrializzazione e della linea di produzione del copri tunnel , un pezzo per gli automotive interiors .

In un contesto competitivo come quello attuale, in cui le imprese si confrontano con un numero straordinariamente elevato di competitors, nuovi entranti, consumatori sempre più esigenti e processi tecnologici in continua evoluzione per consentire di offrire prodotti via via più funzionali e competitivi, l'unica possibilità per sopravvivere è riuscire a percorrere la via della continua innovazione. L'industria moderna e in particolare quella automobilistica lancia continuamente nuovi modelli dei propri prodotti con variazione del volume della domanda sempre considerevole. Ed i fornitori come la Leva devono tenere il passo cercando di semplificare il processo produttivo. La semplificazione dipende da fattori come la disposizione degli impianti tale da assicurarne il massimo grado di utilizzazione, dalla riduzione al minimo dei ritardi di produzione e degli eccessi di scorte, dalla tenuta in conto delle esigenze di manutenzione del macchinario, manutenzione ordinaria rapida.

Ogni cambiamento totale o parziale conduce in genere alla riprogettazione e ridisposizione delle attrezzature e dei servizi interni e per evitare investimenti di capitale non necessari e utilizzare efficacemente la manodopera uno studio preliminare deve essere fatto.

Ecco perché questo elaborato avrà lo scopo di studiare il processo produttivo del copri tunnel nel contesto produttivo della Leva cercando di trovare il giusto bilanciamento della linea. Si cercherà di capire quanto

---

Leva si è migliorato nel passare da un contesto produttivo puramente manuale a quello automatizzato.

La tesi si sviluppa in cinque parti: dopo una presentazione dell'azienda ospitante, LEVA S.p.A , si studierà il caso della linea di produzione manuale del copri tunnel, poi, di quella semi automatizzata e per finire di quella automatizzata. Nella quinta parte verrà fatta un'analisi dei parametri prestazionali chiavi della linea.

---

# CAPITOLO 1

## LEVA: IL CONTESTO AZIENDALE

### I. La storia

Leva è stata fondata negli anni 50 a Torino e fin dalla sua origine ha focalizzato la sua attività nell'utilizzo di pelle, vinile e tessuti per i vari settori. Negli anni 80, con la fornitura di molti componenti tagliati e cuciti per Lancia, ha iniziato ad essere un fornitore importante per l'industria automobilistica. Alla fine dei 90, con l'introduzione di nuovo capitale, Leva ha aumentato gli orizzonti esplorando nuovi settori di business e ha acquisito nuovi importanti clienti. Verso la fine degli anni 2000, la famiglia di prodotti viene ampliata grazie all'acquisto di nuovi macchinari moderni e l'uso di sistemi di saldatura ad alta frequenza e ad ultrasuoni.

Nel 2012, I nuovi edifici sono completamente efficienti dal punto di vista energetico, grazie ad un moderno impianto fotovoltaico per la produzione di energia elettrica. In queste nuove aree, hanno trovato collocazione tutti i nuovi macchinari di saldatura HF e il laboratorio di qualità. Nello stesso anno l'acquisizione di una società leader di produzione in Tunisia (Africa del Nord, paese a basso costo) ha completato la verticalizzazione, consentendo all'azienda di produrre pezzi stampati ad iniezione, assemblati ad elementi già prodotti internamente. Inoltre nel corso del 2012, le attività di adesivizzazione e di taglio/cucito di parti per interni auto e camion, sono state inserite in un nuovo sito produttivo localizzato nell'area industriale di Trana (TO).



## II. La produzione

Il settore automobilistico essendo un settore molto competitivo, i principali “Car Makers” selezionano i fornitori più efficienti alla ricerca di soluzioni tecniche d’avanguardia con le quali penetrare i mercati. Il punto di forza della Leva è la diversificazione. Meno di 10 anni fa la produzione prevedeva un mono-prodotto cioè la cucitura e la saldatura delle cuffie leva freno e leva cambio delle autovetture e pressochè mono-cliente. Negli ultimi anni, con grande dedizione sia dei collaboratori della ricerca e sviluppo sia delle maestranze tutte, Leva è riuscita a dare vita a moltissime nuove applicazioni. Oggi tutti gli “Interior trim” cioè le finiture interne sono articoli di sua produzione e ha come clienti le maggiori case

---

automobilistiche mondiali e ai principali Tier1 ( aziende fornitrici dirette delle oem, ndr) quali fornitori di componenti di sistema.

Sicuramente il settore Automotive cattura molte delle risorse aziendali, in termine di ricerca, sviluppo e industrializzazione di nuove soluzioni. Tuttavia, proprio la grande eterogeneità dei materiali impiegati ( la vera pelle, la finta pelle, i tessuti tecnici con soft touch , le reti di colori e fogge avveniristiche ) unita alle innovative tecnologie di lavorazione ( tessitura, taglio, cucitura, saldatura, sellatura, incollaggio, stampaggio ad iniezione ) consentono di guardare con fiducia anche l'apertura di nuovi mercati nel settore della moda, dello sport e del leisure.

Le maggiori evoluzioni dal punto di vista di processi sono legate all'acquisizione di nuovi macchinari per le lavorazioni di tessitura e di saldatura ma non solo : anche per la fabbricazione di pantine ( alette riparo-sole) , per la sellatura di particolari plastici estetici, per il rivestimento in generale di parti di sedili, braccioli, appoggiatesta, ricoprimenti di copri piantone e altro...

La leva è un'azienda molto dinamica e ha tra i suoi obiettivi quello di massimizzare il Know How acquisito negli oltre 30 anni di vita per orientarsi verso sbocchi impensati di mercato in Italia e all'estero.

### **Alcuni prodotti della Leva:**

#### **- Cuffia leva cambio e freno**

Cuffia in pelle leva freno a mano con cornice leva cambio. Facile e veloce da montare. Adattabile alla maggior parte delle vetture con base di

---

appoggio cuffia fino a 500 mm di circonferenza. Lunghezza cuffia 310 mm.



#### - Porta Libretto

Il portadocumenti è realizzato in pelle di vitello, tessuto esterno cotone 100 % con struttura canvas, stampato in digitale con colore degradè. La chiusura è a mono scorrimento. Internamente presenta su un lato 3 tasche in pelle sviluppate verticalmente. Sul lato opposto una tasca a soffietto e due porta carte di credito. Foderato con poliestere rosso. Dimensioni del prodotto : lunghezza 17.5 cm larghezza 21 cm altezza 2 cm. Il porta documenti è custodito dentro una scatola con fondo e coperchio, personalizzata Alfa Romeo.



---

- **Aletta Parasole**

aletta Parasole Con Specchio Lato Dx e Sx.



*Aletta Parasole*

- **Poggia braccio e testa**

Per appoggiare il braccio e proteggere la testa e il collo. Sono fatte in pelle e sono regolabili. Disponibili in vari colori e hanno una produzione annua di circa 90000 pezzi.



## Oggetto di studio : il copri tunnel

Il copri tunnel è una paratia laterale rivestita di tunnel ,è un corpo stampato, plasmato e rivestito con tufted (nero e beige).

### SPECIFICHE:

- corpo plastico in PC/ABS (Policarbonato/Acrilonitrile-butadiene-stirene).

Le resine PC/ABS sono adatte ad applicazioni che richiedono un'elevata resistenza alla distorsione dovuta al calore (temperature tra 95 e 125°C) e una buona tenacità.

- Colla PUR: poliuretana reattiva
- rivestimento: tufted (nero e beige) tessuto
- mollette plastiche in poliossimetilene (pom)



### Copri tunnel





Lo studio consisterà ad analizzare il processo produttivo del copri tunnel che parte dalla ricezione del corpo stampato nel reparto delle paratie fino all'imballaggio e spedizione. Si tratta di un corpo stampato, plasmato e rivestito con tufted. È disponibile sul mercato in 2 colori, nero e beige ed in due lati, destro e sinistro. Per ottenere un pezzo di copri tunnel ci serve come input, il corpo plastico, le moquette tufting, colla e mollette plastiche. Queste materie prime vengono comprate in outsourcing e sono sottomessi ad un controllo di accettazione prima di essere stoccate nel magazzino delle materie prime. La produzione del copri tunnel necessita prima di tutto in una fase di preparazione, quella del taglio moquette e di fustellatura.

La fase di taglio delle strisce e fustellatura moquette consiste ad agganciare il rotolo al paranco e tramite l'apposito tubo, sollevare il rotolo, e posizionarlo nella sede della taglierina. Ogni striscia deve corrispondere ad  $1270 \pm 10$  mm. Serve poi, prendere la prima striscia di materiale e appoggiarla sulla fustella tergo contro le lame. La striscia successiva deve essere posizionata, invece, tergo a vista. E quindi avviare ciclo tramite pedale.

Dopo il taglio e la fustellatura delle moquette, seguono le fasi di plasmatura, pressatura, conformatura e pokayoke. Quest'ultime sono le fasi che vengono eseguite nel reparto delle paratie vero e proprio in

---

quanto alla Leva vengono separati i reparti Taglio e Fustellatura dal reparto Paratia.

Esiste poi una fase di Collaudo finale e Imballo che consiste in un veloce controllo visivo per assicurarsi che i pezzi siano realmente conformi. Quindi si deve controllare che le alette del pezzo siano chiuse e nel caso non fossero, chiudere le alette, scaldandole precedentemente con il phon per riattivare la colla; poi, rifilare la parte in eccesso della paratia ed applicare l'etichetta di corretta identificazione colla.

Le Tappe accennate precedentemente possono essere riassunte con la seguente figura che descrive il flow chart passo per passo dall'arrivo delle materie prime fino alla spedizione al cliente del copri tunnel.

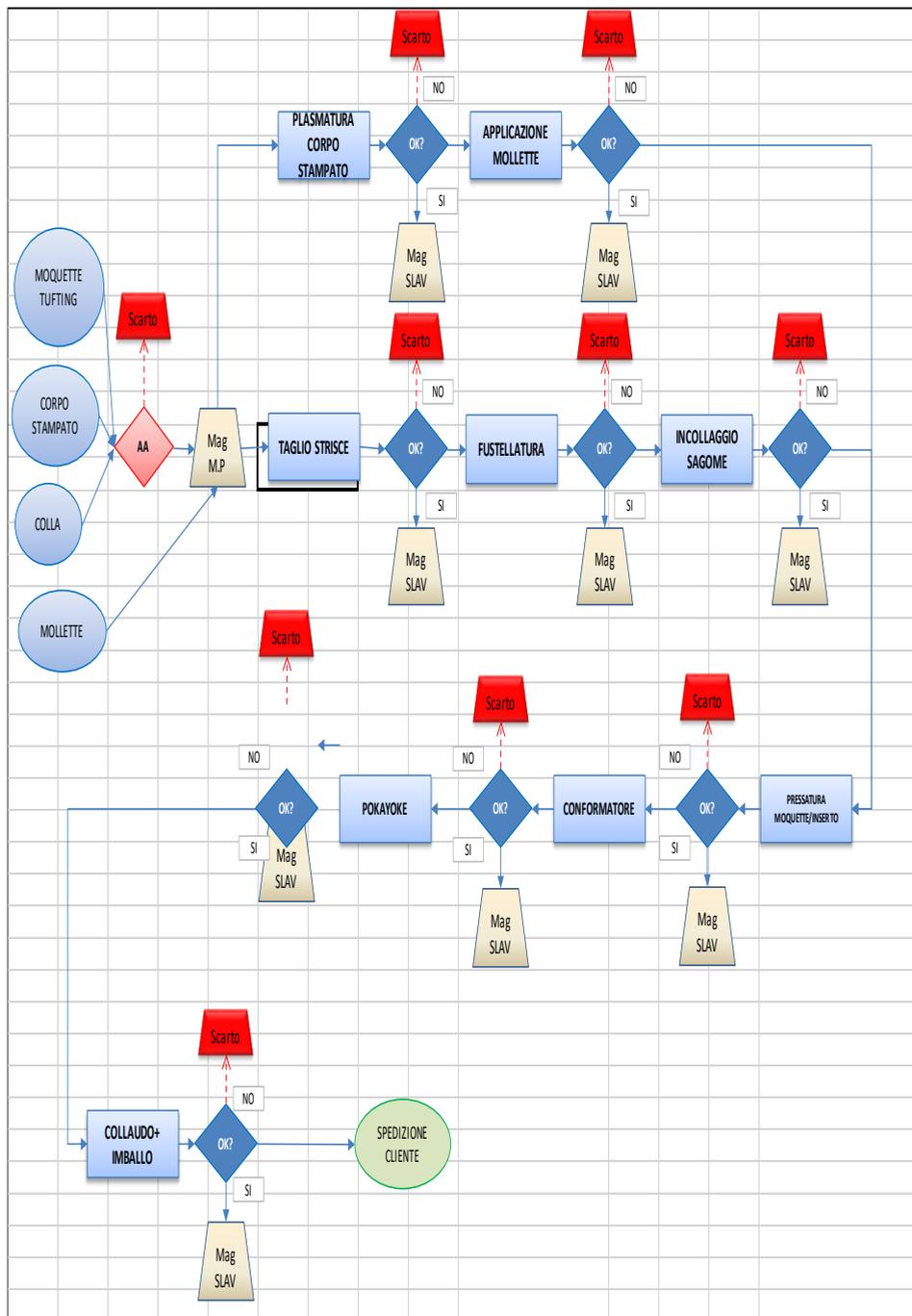


Figura flow chart Copri tunnel

---

## **CAPITOLO 2.**

### **LINEA DI PRODUZIONE MANUALE**

Le linee di questo tipo sono speciali processi di produzione di tipo flow-line largamente utilizzati quando si tratta di linea estremamente semplice ed affidabile, particolarmente congeniale per piccole produzioni. I prodotti sono caratterizzati da una distinta base più o meno complessa, che richiede, pertanto, una corretta gestione dell'approvvigionamento dei componenti; L'utilizzo di una linea manuale è favorito dalla possibilità di suddividere tutte le attività previste in piccoli gruppi di lavoro, dalla difficoltà o impossibilità di automatizzare determinate operazioni. Le postazioni di lavoro tengono conto dell'ergonomia e delle caratteristiche antropometriche, della posizione delle attrezzature, dei materiali e delle adeguate fonti di illuminazione, nel rispetto delle norme riguardanti i principi ergonomici nazionali ed internazionali.

#### **I. Modellazione delle fasi di produzione :**

La fabbricazione del copri tunnel può essere suddivisa in 7 principali fasi. Le operazioni eseguite in queste fasi devono essere eseguite con tanta diligenza per poter ottenere il risultato desiderato e soddisfare i requisiti dei clienti. Per ogni operazione è stato fatto qualche rilievo in modo da ottenere il valore medio in termini di tempo. A partire di quei rilievi è stato anche calcolato la varianza che ci servirà poi per fare ulteriori analisi.

## 1. Descrizione delle varie fasi del processo

### a. La fiammatura:

è un metodo molto diffuso di pre e post trattamento utilizzato su oggetti tridimensionali per produzioni ad alta cadenza oraria. Questa operazione permette di trattare , pulire e attivare la superficie del corpo plastico. Il trattamento interviene su: l'adesività, l'affinità e inerzia chimica, la bagnabilità, la biocompatibilità, la capillarità, la forza dei legami, la lubrificazione, la protezione ed antiusura, la pulizia e sterilizzazione. La fiammatura viene eseguita riscaldando il pezzo per mezzo di una fiamma ossiacetilenica. Dosando opportunamente la fiamma e la durata del riscaldamento si ottengono spessori di strati induriti con valori che vanno da 1 a 5 mm. Le caratteristiche superficiali sono anche condizionate dalla velocità di raffreddamento, che può essere controllata dalla natura del fluido refrigerante, e dalle sue modalità (spruzzo del fluido sulla superficie riscaldata, o immersione del pezzo nel mezzo refrigerante).

### b. L'applicazione della colla sulla moquette (incollaggio)

Viene usato la colla PUR, la poliuretana reattiva. Infatti questa operazione consiste nello spruzzamento della colla sulle sagome (nere o beige). Quindi sul banco , vengono depositate moquette tale da poter applicare su ognuna una quantità ben definita di colla. Serve poi, un buffer dopo l'applicazione della colla per contenere le fustelle in attesa di essere incollate sul corpo di plastica precedentemente pulito



c. La pressatura ( incollaggio della moquette sul corpo stampato)

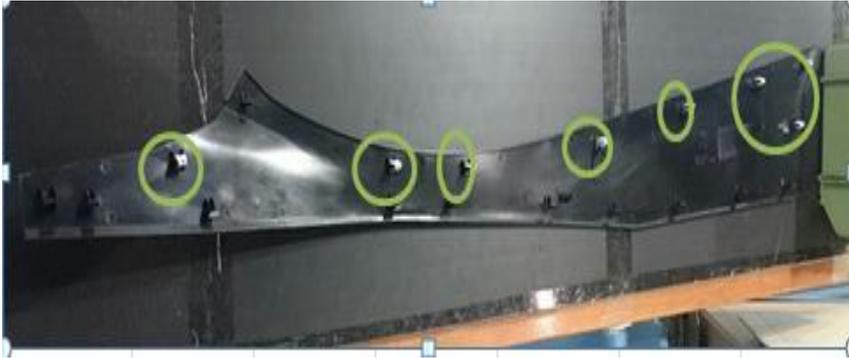
Consiste nell'incollare sul corpo stampato (sinistro/destro) la fustella (sinistra/destra) . Si deve fare attenzione a mettere insieme i corrispettivi destri con i destri e quelli sinistri con i sinistri.



d. Applicazione mollette di plastica

Consiste nell'inserire tutte le mollette (8 per pezzo cioè 16 per kit) nei pinetti adibiti sul corpo di plastica.





#### e. Conformatura

Questa operazione viene eseguita con lo scopo di garantire la conformità dei pezzi al campione. Quindi si tratta di prendere il kit pressato e di inserirlo all'interno del conformatore , facendolo aderire perfettamente.



#### f. Poka yoke

Viene usato per contrastare il verificarsi di difetti sulla paratia. È un'operazione necessaria per assicurarsi che le mollette siano state inserite negli appositi pinetti e in numero giusto. Nel caso di esito negativo di poka-yoke, i pezzi senza mollette dovranno essere rilavorati a fine turno e nuovamente riprovati sul poka-yoke



#### g. Collaudo e imballaggio

Consiste nel verificare il corretto accoppiamento del tufted al corpo stampato e verificare l'uniformità del profilo e l'assenza di pallini di materiale sui bordi della paratia.



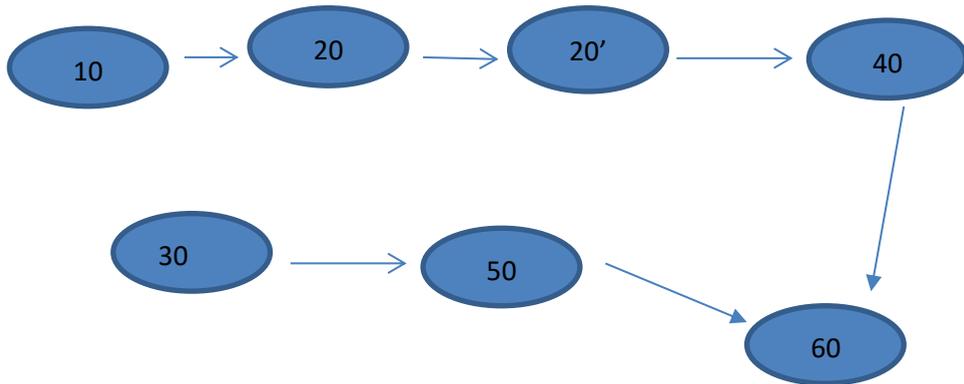


Risulta che il tempo medio di esecuzione di ogni operazione ricavato per mezzo di un cronometro viene dato dalla seguente tabella;

ID OPERAZIONI	DESCRIZIONE	TEMPI MEDI (sec)	OPERAZIONI PRECEDENTI
10	flammatura	97	-
20	Incollaggio	89	10
20'	Pressatura	140	20
30	Applicazione molette	34	-
40	Conformatura	9	-
50	Poka-yoke	36	30
60	Collaudo + imballaggio	85	40,50

## 2. Grafo delle operazioni

Le operazioni devono essere effettuate nel rispetto dei vincoli tecnologici preassegnati. E' utile utilizzare la tecnica dei diagrammi di precedenza (mediante grafi) per rappresentare tali precedenze.



## II. Configurazione della linea di produzione:

Consideriamo una linea di produzione di uno solo prodotto costituito da diversi stazioni di lavoro e di almeno un operatore per ogni stazione.

### 1. Determinazione della cadenza e del tempo ciclo

In genere, una linea di produzione deve essere dimensionata in modo da raggiungere un determinato rateo di produzione  $R_p$  sufficiente per soddisfare la domanda di un determinato prodotto. Di solito la domanda di un prodotto è determinata come quantità annuale  $D_a$ ; questa deve essere trasformata in una produzione oraria che l'impianto deve garantire. Per effettuare questa trasformazione, è necessario fissare (da parte della direzione della produzione):

- il numero di settimane per anno  $W_y$  nei quali la linea deve funzionare

- 
- il numero di turni alla settimana Sw
  - il numero di ore per turno Ht

Noti tali parametri, il rateo di produzione della linea può essere calcolato come:

$$Rp = \frac{Da}{Wy.Sw.Ht}$$

Il rateo di produzione deve essere ulteriormente trasformato in una cadenza, cioè in un tempo ciclo Tc che rappresenta l'intervallo di tempo che passa dal completamento della produzione di un kit di paratia al successivo e quindi rappresenta anche il tempo che ciascuna stazione di lavoro ha per completare le operazioni. Tale tempo può essere calcolato con:

$$Tc = \frac{3600}{Rp'}$$

Con:

- 3600 per riportare il tempo ciclo in secondi,
- Rp' rappresenta il rateo produttivo che si avrebbe nel caso in cui non fossero presenti le perdite produttive dovute all'inefficienza della linea, come mancanza di materiale, fermi, ecc.

Il rapporto( $\eta$ ) tra Rp e Rp' è detto *efficienza della linea*.  $\eta$  è un valore compreso tra 0,90 e 0,98.

Una caratteristica molto importante da considerare nel momento della progettazione del sistema di produzione è la variabilità della domanda. Infatti il fatto che i volumi produttivi possano variare causa tipicamente inefficienze nel bilanciamento e controllo della linea. Questo effetto può essere ridotto sia con interventi nel breve termine, ad esempio ottimizzando il sequenziamento di produzione, oppure anche prevedendo la variabilità e gestendola nel modello di bilanciamento,

---

utilizzando ad esempio funzioni obiettivo ad hoc, oppure dimensionando correttamente i buffer per linee a cadenza non imposta.

L'obiettivo è quello di determinare il numero di stazioni di lavoro necessario per la linea, in modo da assicurare una produttività minima di **200 kit/gg** cioè **25 kit/ h** . Esistono, però una serie di vincoli legati al limitato spazio disponibile per la linea, al corretto bilanciamento della linea, alla riduzione dell'insaturazione sulle varie postazioni, allo stazionamento della linea stessa, al tipo di turno di lavoro giornaliero . Quindi,

$$T_c = \frac{3600\left(\frac{sec}{h}\right)}{25\left(\frac{kit}{h}\right)} = \mathbf{144\ sec/kit}$$

Visto l'elevato contenuto di lavoro manuale si sceglie la soluzione della linea a "cadenza non imposta". Di conseguenza nonostante non sia necessario determinare un tempo ciclo "rigoroso" è utile determinare una tempistica orientativa che fungerà da riferimento per il bilanciamento delle singole stazioni.

## 2. determinazione numero di operatori e di stazioni di lavoro

### a) stazione di lavoro

Le stazioni di lavoro (workstation) sono locazioni lungo la linea nelle quali vengono montati uno o più componenti da uno o più operatori. Oltre ai prodotti che transitano sulla linea, si considerano facenti parte delle stazioni anche tutti gli strumenti (tools), dispositivi e parti necessari per portare a termine le operazioni assegnate a ogni singola stazione. Ad ogni stazione è possibile associare uno o più operatori addetti al montaggio, in relazione alla complessità delle operazioni da svolgere. Oltre a questo tipo di lavoratori, faranno parte del personale addetto ad ogni stazione anche i cosiddetti "operatori d'utilità" che svolgeranno attività di supporto come manutenzione, riparazioni, nonché sostituzione di eventuali operatori in pausa.

---

## b) Sistema di trasporto manuale

Un'altra caratteristica delle linee di produzione manuale è il sistema di trasporto utilizzato per collegare tra loro le differenti stazioni. Inizialmente, la classificazione può essere fatta in base al mezzo utilizzato per la movimentazione. Distinguiamo pertanto in:

- Sistema di trasporto manuale;
- Sistema di trasporto automatizzato, a sua volta classificabile in:
  - Linee continue;
  - Linee discontinue, suddivise in:
    - Linee sincrone;
    - Linee asincrone.

Nel **sistema di trasporto manuale** è l'operatore stesso a trasportare il pezzo tra una stazione e la successiva. Questo sistema genera numerosi problemi: in particolare si parla di blocking, nel momento in cui un addetto non può passare la sua parte alla stazione successiva perché l'operatore a valle non ha ancora terminato le sue operazioni, o viceversa si presenta la situazione di starving, in cui un operatore non possiede la parte su cui lavorare perché l'operatore a monte non ha ancora terminato le sue attività e pertanto non gli ha ancora fornito il pezzo su cui montare i successivi. La soluzione a questo problema è individuabile nella presenza di buffer tra le stazioni, così da permettere il flusso stesso delle attività nel modo più lineare possibile. C'è però da sottolineare come questo tipo di compromesso implichi anche alti costi di stoccaggio dei semilavorati, nonché aumenti a dismisura l'ingombro della linea di fabbricazione manuale stessa.

## c) Numero delle stazioni di lavoro

Il numero minimo teorico di operatori necessari per produrre un determinato prodotto e quindi il numero di stazioni di lavoro deve essere valutato in funzione del rateo di produzione  $R_p$ . Tale numero deve essere

garantito dalla linea e dal tempo  $T_p$  necessario per produrre il prodotto.  $T_p$  rappresenta il tempo totale necessario per compiere tutte le operazioni eseguite nelle varie stazioni di lavoro. Il numero minimo di operatori e quindi di stazioni di lavoro può essere valutato come:

$$w = \frac{CL}{Td}$$

dove **CL** rappresenta il carico di lavoro che deve essere completato in un determinato periodo di tempo mentre **Td** è il tempo disponibile in quel periodo :

$$CL = Rp \cdot Tp$$

il carico di lavoro CL è espresso in minuto di lavoro per ogni ora.

Il tempo disponibile Td è invece il periodo di riferimento moltiplicato per l'efficienza della linea. Nel caso in cui il periodo considerato sia un'ora, il tempo disponibile è quindi valutabile come:

$$Td = 3600 \cdot \eta$$

Il parametro riguardante l'efficienza della linea risulta fondamentale in quanto nel dimensionamento di una linea manuale si deve tenere conto di guasti delle risorse, mancanza dei componenti necessari, problemi di qualità dei prodotti, per cui si identifica come tempo a disposizione per la lavorazione totale un tempo minore rispetto a quello realmente disponibile

Quindi :

$$w = \frac{CL}{Td} = \frac{Rp \cdot Tp}{3600 \cdot \eta} \quad \gggg \quad w = \frac{Tp}{Tc}$$

Numericamente, se  $T_p = 490$  secondi

$$w = 490 / 144 \simeq 4 \text{ operatori}$$

---

Questo valore rappresenta un dato del tutto teorico. Esso infatti non tiene conto di due aspetti molto importanti:

- perdite dovute al riposizionamento: è necessario considerare che in ogni stazione viene perso del tempo per permettere all'operatore di riposizionarsi o all'unità di portarsi nella zona di lavoro;
- suddivisione del carico di lavoro: è praticamente impossibile suddividere il carico di lavoro equamente su tutte le stazioni. Alcune stazioni completeranno il lavoro in un tempo inferiore al tempo ciclo  $T_c$ .

Per tenere conto dei due precedenti aspetti, è necessario considerare i seguenti parametri:

- $T_r$  : il tempo necessario in ogni stazione per permettere all'operatore di riposizionarsi o all'unità di portarsi nella zona di lavoro (si supponga per semplicità che tale tempo sia uguale in tutte le stazioni);
- $T_{si}$ : il tempo necessario all'operatore della stazione  $i$ -esima di completare l'operazione (questo è diverso da stazione a stazione in quanto non è praticamente possibile suddividere il carico di lavoro equamente tra tutte le stazioni).

Allora, definiamo il tempo  $T_{max}$  come il tempo massimo tra tutte le stazioni, corrispondente alla stazione più lenta detta stazione collo di bottiglia (bottle neck).

Ovviamente deve risultare:

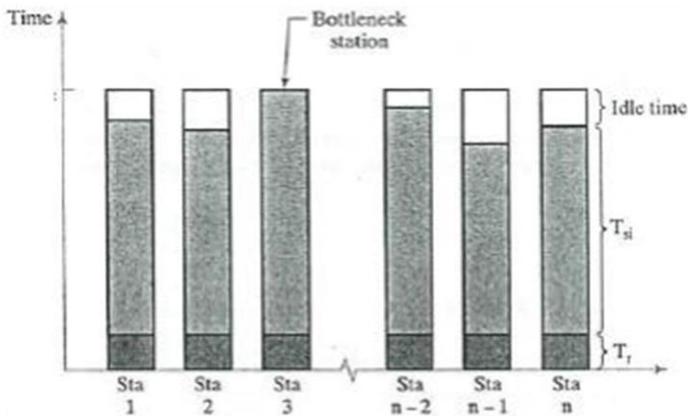
$$T_{max} \leq T_c - T_r$$

Per tutte le altre stazioni nelle quali  $T_{si} < T_c - T_r$ , sarà quindi presente un tempo di attesa, detto "idle time", dato da:

$$T_{ai} = T_c - (T_{si} + T_r)$$

Chiameremo dunque tempo di attesa, la differenza tra il tempo ciclo uguale per tutte le stazioni e il tempo di completamento delle attività (comprensivo di tempo di riposizionamento) per ogni stazione.

Schematicamente, la situazione per ogni stazione sarà del tipo di quella rappresentata nella figura sottostante.



### 3. Calcolo delle statistiche sui tempi di realizzazione delle operazioni

I tempi di lavorazione o di ciclo permettono di determinare il tempo medio necessario per la lavorazione di un pezzo. Si determinano analizzando in modo dettagliato ogni singola operazione del ciclo di lavoro attraverso la compilazione del foglio analisi operazione.

Ognuna delle attività che compongono l'operazione è detta fase e per ognuna di queste è possibile calcolare o rilevare o preventivare il tempo necessario per eseguirla. Dalla conoscenza di quei tempi si calcola il tempo di operazione  $T_o$ .

Tra i principali metodi di determinazione dei tempi delle operazioni è stato scelto quello della *Study time* o *cronometraggio*. Questo metodo è

classificato tra i metodi in-field in quanto richiede un'analista incaricato di rilevare i tempi nella realtà (es. a bordo linea). È una tecnica adoperata per determinare il più accuratamente possibile, mediante un numero limitato di osservazioni, il tempo necessario ad eseguire una certa attività secondo obiettivi di efficienza stabiliti.

Il tempo di ogni singola operazione è calcolato come essendo la somma dei tempi di operazioni elementare che compongono il ciclo di lavoro. Il tempo di ogni operazione elementare è il tempo impiegato computato dall'istante in cui il pezzo da lavorare viene prelevato e quello in cui , terminata l'operazione e deposto il pezzo, l'operatore si accinge a prelevare un altro.

Sommando i tempi di ogni operazione elementare si ottiene il tempo della corrispondente operazione. il tempo totale di produzione  $T_p$  è ottenuta con la semplice somma delle varie operazioni.

ID operazioni		Operazioni elementari	Rilievi			Media (Tek)	Deviazioni standard
10	fiammatura	1	83,4	84,6	85,2	84,4	0,74833
		2	10,8	12	12,6	11,8	0,74833
		3	0,534	0,66	0,528	0,574	0,06086
		<i>totale</i>				<b>96,774</b>	<b>1,55752</b>
20	incollaggio	1	5,28	5,1	5,34	5,24	0,10198
		2	24,0588	24,072	24,09	24,0736	0,01279
		3	24,0588	24,072	24,09	24,0736	0,01279
		4	35,556	35,559	35,562	35,559	0,00245

		<i>totale</i>					<b>0,13001</b>
						<b>89</b>	
20'	<b>pressatura</b>	1	87,81	90,9	93,2	90,14	0,166733
		2	50,2	50,82	50,1	50,27	0,16083
		<i>totale</i>				<b>140</b>	<b>0,32756</b>
30	<b>Appl. Mollette</b>						
		1	33,6	34,11	34,14	33,95	0,24779
		2	0,00195	0,1182	0,11994	0,08003	0,05522
		<i>totale</i>				<b>34,03</b>	<b>0,30301</b>
50	<b>poka yoke</b>						
		1	35,91	35,93	35,946	35,93	0,01497
		<i>totale</i>				<b>35,93</b>	<b>0,01497</b>
60	<b>collaudo</b>	1	78,66	78,78	78,54	78,66	0,09798
		2	6,39	6,33	6,29	6,34	0,0411
		<i>totale</i>				<b>85</b>	<b>1,08063</b>
40	<b>conformatore</b>						
		1	9,162	9,192	9,222	9,192	0,02449
		<i>totale</i>				<b>9,192</b>	<b>0,02449</b>
	<b>Totale</b>					<b>490</b>	<b>3,43819</b>

La variabilità del tempo delle singole operazioni riguarda il fatto che per compiere ogni operazione sarà necessario un tempo leggermente diverso per ogni operatore, dunque per evitare slittamenti è opportuno considerare queste piccole differenze all'interno della totalità del calcolo, tramite una maggiorazione del tempo necessario.

#### 4. Bilanciamento della linea

Il bilanciamento della linea permette di trovare soluzioni che consentono di aumentare ulteriormente la produttività dell'impianto. Per trattare questa problematica è necessario introdurre i seguenti concetti:

- operazione elementare definibile come quella operazione che ha un preciso obiettivo ma che non può essere ulteriormente scomposta in ulteriori operazioni eseguibili separatamente; esempio: applicazione mollette, applicazione colla ecc...

Indicando con  $T_{ek}$  il tempo necessario per eseguire l'operazione elementare  $k$ -esima, e con " $n_e$ " il numero totale di operazioni elementari per completare un dato prodotto, si ha che il tempo necessario per produrre il prodotto è quindi dato da:

$$T_p = \sum T_{ek} \quad \text{con} \quad k = 1, \dots, n_e$$

Considerando una singola stazione  $i$ -esima, il tempo necessario per completare tutte le operazioni elementari che sono state ad essa associate è dato da:

$$T_{pi} = \sum T_{ek} \quad \text{con}$$

$$k = \text{variabile in un sotto intervallo di } 1, \dots, n_e$$

Ovviamente deve risultare :

$$T_p = \sum T_{pi} \quad \text{con } i = 1, \dots, n$$

L'assegnazione delle operazioni elementari alle varie stazioni dipende da numerosi fattori quali, ad esempio:

- la similitudine tra una operazione e una successiva; può essere conveniente effettuarle nella stessa stazione;
- legame tra una operazione e la successiva: se una operazione consiste in un'applicazione della colla e la successiva riguarda l'incollaggio vero e proprio, può essere conveniente farle presso la stessa stazione per evitare che la colla perda la sua potenza aderente durante la fase di spostamento verso la stazione successiva.

---

I precedenti vincoli, uniti al fatto che i vari Tek sono differenti tra loro, non permettono di fatto di ottenere una bilanciata distribuzione del carico di lavoro tra le varie stazioni. Tuttavia è possibile ricercare soluzioni migliori cambiando ad esempio la sequenza con cui vengono eseguite le operazioni: ad esempio è possibile che una diversa sequenza di lavoro consenta di ottenere un migliore bilanciamento della linea, con conseguente riduzione del tempo ciclo e quindi un maggiore rateo produttivo.

L'obiettivo del bilanciamento è quello di distribuire il carico di lavoro il più possibile equamente tra tutti gli operatori. Considerando che l'obiettivo sia quello di ridurre il più possibile il numero di stazioni lungo la linea, saturando al massimo il tempo disponibile, in modo da ridurre il costo della manodopera, questo può essere espresso matematicamente tramite la seguente condizione:

minimizzare  $(T_{max} - T_{pi})$  con  $i = 1, \dots, w$       **oppure**

minimizzare  $(w T_{max} - T_p)$

Considerando che:

1.  $T_{pi} = \sum T_{ek} \leq T_{max}$
2. e che tutte le precedenze devono essere soddisfatte

**w** è il numero di operatori (stazioni) ;

**T<sub>p</sub>** il tempo necessario per produrre il pezzo ;

**T<sub>pi</sub>**, il tempo necessario per completare tutte le operazioni elementari in una singola stazione

A tal proposito, una volta assegnate le operazioni alle varie stazioni, è opportuno aggiustare il valore di  $T_{max}$  come mostrato nella formula seguente:  $T_{max} = \max \{T_{si}\}$

---

Con:

- **Tmax**: tempo massimo tra tutti quelli necessari alle varie stazioni, corrispondente alla stazione più lenta, chiamata “stazione collo di bottiglia” (bottleneck);
- **Tsi** : tempo necessario all’operatore della stazione i-esima per completare tutte le operazioni assegnate;

Una sequenza di operazioni tuttavia non può essere modificata a piacere in quanto esistono delle “precedenze” che devono necessariamente essere rispettate (ad esempio, l’operazione di flammatura deve necessariamente precedere quella dell’incollaggio in quanto permette di trattare, pulire e attivare la superficie del corpo plasmato. In definitiva con “bilanciamento di una linea” si intende l’assegnazione delle operazioni alle singole stazioni nel rispetto:

- del tempo di ciclo, derivante dalla produttività richiesta dalla linea;
- delle precedenze tecnologiche tra le varie operazioni

La logica di solito seguita per mettere in atto il bilanciamento è quella di ridurre il più possibile il numero di stazioni lungo la linea, **saturando al massimo il tempo disponibile**, in modo da ridurre il costo della manodopera.

Minimizzare il costo della manodopera implica rendere minimo il numero delle stazioni, sottostando all’ipotesi della presenza di un unico operatore per ogni stazione. Questo metodo però, se da un lato riduce i costi della manodopera, dall’altro fa aumentare il carico di lavoro per ogni stazione, raggiungendo il massimo livello di saturazione possibile, con il rischio sempre più elevato di un mancato completamento in linea.

E’ da notare tuttavia che il costo di produzione  $C_p$  (Euro/kit) può essere espresso come:

---

$$C_p = C_m + C_{nc} + C_{att}$$

essendo  $C_m$  il costo della manodopera,  $C_{att}$  il costo delle attrezzature, e  $C_{nc}$  il costo atteso di non completamento, cioè il costo in più che potrebbe essere sostenuto se una o più stazioni non riescono a completare le operazioni assegnate.

Dove

$$C_{nc} = \sum (1 - p_k) I_k \quad \text{con } k = 1, \dots, w$$

con  $C_m$  il costo orario della manodopera,  $p_k$  la probabilità che la stazione  $k$ -esima completi l'operazione e  $I_k$  il costo da sostenere in più per completare il pezzo fuori linea dalla  $k$ -esima stazione in poi.

Risulta evidente che se l'obiettivo è quello di saturare sempre di più la linea, aumentando il contenuto di lavoro per ciascuna stazione, si ha una diminuzione di  $C_m$  ma evidentemente anche un aumento di  $C_{nc}$ , in quanto aumentano le probabilità che alcune operazioni non vengano completate. Ne deriva quindi che un ulteriore approccio può essere quello di bilanciare una linea, cercando però di non saturarla completamente con l'obiettivo di minimizzare il costo di produzione  $C_p$ .

Qualunque sia l'approccio impiegato, una volta che è stata raggiunta una determinata soluzione, di questa è possibile misurarne la bontà attraverso un parametro chiamato "efficienza di bilanciamento".

### ***Metodo della saturazione parziale del tempo di ciclo***

Questo approccio consiste nel bilanciare una linea cercando di minimizzare i costi di produzione. Prevede di saturare il tempo ciclo secondo un valore percentuale prefissato. il tempo  $T_{max}$ , essendo il tempo disponibile per eseguire la produzione di un kit di prodotto (cioè quello rispetto al quale la linea deve essere bilanciata) può essere calcolato come:

$$T_{max} = T_c - T_r$$

---

Supponendo che il tempo di riposizionamento in ogni stazione sia  $Tr = 3 \text{ sec}$ ,

$T_{max} = 144 - 3 = 141 \text{ sec}$ . Se si decide di operare con una saturazione del 96%, le operazioni svolte presso ogni stazione non dovranno superare **135 sec**.

Operando diversi tentativi con differenti percentuali di saturazione, è possibile individuare quello in grado di minimizzare i costi di produzione, dati dalla somma dei costi di manodopera e dei costi attesi di non completamento. Il metodo infatti tiene conto della possibilità che una data stazione possa non completare le operazioni richieste, in quanto considera che il tempo di esecuzione  $T_e$  non sia un valore esatto, ma sia distribuito normalmente con una media  $M_e$  e una varianza  $Var$ . Ne deriva che, per ogni operazione debba essere definito:

- il tempo medio di esecuzione  $Mek$
- la varianza  $Var$
- le precedenze
- il costo di completamento in linea dell'operazione k-esima  $Lk$
- il costo di completamento fuori linea dell'operazione k-esima  $I'k$
- il costo di completamento fuori linea dell'operazione k-esima  $Ik$  comprensivo di tutte le successive

$Lk$  e  $I'k$  rappresentano rispettivamente i costi di esecuzione della k-esima operazione lungo la linea e fuori della linea di produzione. Essi possono essere valutati come:

$Lk = Mek \cdot Cmo$  e  $I'k = FLek \cdot Cmo$  con  $FLek$ , il tempo necessario per completare l'operazione k-esima fuori linea. In genere risulta  $FLek \geq Mek$ .

Mentre  $Ik$  rappresenta il costo necessario per completare fuori linea l'operazione K-esima che non è stata completata nel tempo prestabilito,  $I'k$  invece tiene conto del fatto che se effettuato fuori linea l'operazione k-

esima, allora necessariamente devo effettuare fuori linea tutte le operazioni che da essa dipendono nel grafo delle precedenze. Quindi

$I_k = \sum I'_j$  con  $j = k, \dots, N_k$  essendo  $N_k$  le operazioni successive alla  $k$ -esima.

La probabilità che venga completato un gruppo di operazioni assegnate ad una data stazione  $i$ -esima dipende ovviamente dal tempo medio di esecuzione  $M_{ek}$  e dalla varianza  $Var$  di ciascuna operazione ad essa assegnata. In particolare dal calcolo delle probabilità si può dimostrare che tale probabilità è valutabile come :

$$p_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-z^2/2} dz \quad \text{con} \quad y = \frac{T_{max} - \sum M_{ek}}{\sum \sigma_{ek}}$$

Considerando il costo della mano d'opera pari a  $C_{mo} = 20\text{€}/\text{ora}$  , si ha:

Id operazioni	Descrizione operazioni	Media (Me k)	Varianza (var)	Operazioni precedenti	Tempo FLe k	Costo L (euro/kit)	Costo I' (euro/kit)	Costo I (euro/kit)
10	flammatu ra	97	1,55	-	97	0,54	0,53	2,09
20	incollaggio	89	1,110	10	89	0,49	0,49	1,56
20'	pressatura	140	1,110	20	140	0,57	0,57	1,07
30	applicazioni mollette	34	0,303	-	34	0,19	0,19	0,74
40	conformatura	36	0,024	-	36	0,2	0,2	0,7
50	Poka-yoke	9	0,015	30	9	0,05	0,05	0,55
60	collaudo	85	1,081	40,50	90	0,47	0,5	0,5

❖ **Definizione delle stazioni:**

**Stazione 1**

Operazione	descrizione	Tek	precedenze
10	Flammatura	97	-
30	Applic. mollette	34	-

$Tp1 = 131 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp1 = 141 - 131 = 10 \text{ sec}$

**Stazione 2**

operazione	descrizione	Tek	Precedenze
20	Incollaggio	89	10
50	Poka yoke	36	30

$Tp2 = 125 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp2 = 16 \text{ sec}$

**Stazione 3**

Operazione	descrizione	Tek	precedenze
20'	pressatura	140	20

$Tp3 = 140 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp3 = 141 - 140 = 1 \text{ sec}$

**Stazione 4**

operazione	descrizione	Tek	Precedenze
40	Conformatura	9	20'
60	Collaudo	85	40,50

$Tp4 = 94 \text{ sec}$  ,  $Tmax - Tp4 = 47 \text{ sec}$

La soluzione ottenuta porta ad utilizzare 4 stazioni e quindi 4 operatori lungo la linea.

Stazioni	operazioni	Tpi	Tpi/Tmax	y	pi	li	(1-pi)l
1	10; 30	131	0,93	7,35	1	2,09	0
2	20; 50	125	0,89	15,09	1	1,56	0
3	20'	140	0,99	5,19	1	1,07	0
4	40; 60	94	0,67	44,76	1	0,5	0

❖ **Idle time delle stazioni**

$$T_{ai} = T_c - (T_{si} + T_r)$$

stazione	TC	Tsi	Tr	Tai
1	144	131	3	<b>10</b>
2	144	125	3	<b>16</b>
3	144	140	3	<b>1</b>
4	144	94	3	<b>47</b>

**La percentuale del tempo perso è :**

$$\text{percent idle time} = \frac{\sum T_{ai}}{w \cdot T_c}$$

Quindi

$$\text{Idle time}(\%) = (10 + 16 + 1 + 47) / 4 \cdot 144 = 74 / 576 = 13\%$$

La stazione collo di bottiglia è la n.3 con un tempo  $T_{s3} = 140$  sec. Ciò consente di ridurre il tempo  $T_{max}$  della linea a tale valore, ottenendo di conseguenza un tempo ciclo  $T_c' = 143$  secondi, e quindi una produttività giornaliera di 26 kit/ora, anziché 25 inizialmente impostato. In questo caso la linea risulta presentare la stazione n.3 completamente saturata ed una efficienza di bilanciamento che si migliora.

## ❖ Valutazione economica

### Nota:

- Il costo di completamento fuori linea viene calcolato considerando solo il costo di completamento fuori linea dell'ultima operazione in quanto, per semplicità, si può supporre che sia quella che effettivamente non viene completata.

Si può dedurre dal bilanciamento effettuato che per 8 ore di lavoro programmato e per una produzione di **200kit/turno cioè di 25kit/h**, le attrezzature non impegnano lo stesso quantitativo di ora.

Facendo il rapporto tra il periodo considerato(3600 secondi) e il tempo medio dell'operazione in esame, si ottiene il numero di pezzi che l'attrezzatura è in grado di produrre per ora.

Considerando che l'operazione di pressatura (collo di bottiglia) lavora per 8h pieno, il numero di ore operativo delle altre attrezzature avranno come riferimento il tempo medio della pressatura(140 secondi).

### Ad esempio:

$$\text{numero kit di flammatura} = \frac{3600}{97} = 37 \quad \text{e}$$

$$\text{ore flammatura} = \frac{97 \times 8}{140} = 5,5$$

Quindi si ha:

Operazioni	Fiammatura	incollaggio	pressatura	conformatore	Poka yoke	Applicazione molette	collaudo
<b>Ore (h)</b>	5,5	5	8	0,5	2	2	4,9
<b>Kit prodotti/ora</b>	37	40	25	400	100	106	42

attrezzatura	quantità	Costo orario( €/h)	Ore impegnate(h)	costo totale( €)
fiammatore	1	20	5,5	110
Poka yoke	1	20	2	40
conformatore	1	20	0,5	10
Attrezzatura collaudo	-	40	4,9	196
<b>Totale</b>				<b>356</b>

$$\text{costo attrezzatura} = \frac{356}{200} = 1,78 \text{ €/kit}$$

Tipo Mdo	quantità	ore	costo uni( €)	costo totale ( €)
operatore di linea	4	8	20	640
responsabile di linea	1	8	10% di 40	32
<b>totale</b>				<b>672</b>

$$\text{costo Mdo} = 672/200 = 3,36 \text{ €/kit}$$

$C_{nc} = \sum(1 - pk)Ik \approx 0$  Quindi il costo di completamento delle operazione è quasi nullo.

quindi

$$C_p = C_{nc} + C_m + C_{attr} = 0 + 1,78 + 3,36 = 5,14 \text{ €/kit}$$

## 5. Efficienza di bilanciamento

È calcolato come il rapporto tra il tempo totale necessario per la produzione di un kit di copri tunnel ed il tempo totale impiegato lungo la linea.

$$\eta b = T_p / (w T_{max}')$$

Quindi:

$$\eta b = \frac{490}{4 \times 140} = 0,88 \quad \text{cioè} \quad \eta b = 88\%$$

È chiaro che la condizione di perfetto bilanciamento corrisponde a  $\eta b = 1$ , praticamente impossibile da raggiungere. Il complementare dell'efficienza di bilanciamento è il "**ritardo di bilanciamento**" che rappresenta il tempo perduto a causa di un imperfetto bilanciamento e fornito come rapporto rispetto al tempo totale disponibile:

$$d = \frac{(wT_{max} - T_p)}{wT_{max}} = \frac{(4 \times 140) - 490}{4 \times 140} = 0,12$$

Ovviamente un rapporto  $d=0$  indica un tempo perduto uguale a zero e quindi un perfetto bilanciamento. Chiaramente si ha  $\eta b + d = 1$ . A questo punto possiamo definire 3 "efficienze" che identificano la produttività di questa linea:

- *l'efficienza della linea*.  $\eta_L = R_p / R_p' = 25 / 26 = 0,96$

- *l'efficienza di riposizionamento*  $\eta_r = T_{max}' / T_c' = 140 / 143 = 0,98$

- *l'efficienza di bilanciamento*  $\eta b = T_p / (w T_{max}') = 490 / (4 \times 140) = 0,88$

Questi 3 fattori misurano quindi **l'efficienza dell'impianto** e possono essere utilizzati insieme per definire un fattore di efficienza globale della linea dato da:

$$\eta = \eta_L \times \eta_r \times \eta b = 0,96 \times 0,98 \times 0,88 = 0,83$$

Utilizzando tale fattore è possibile calcolare un valore più realistico del numero di operatori necessari per la linea :

$$w = Rp' \frac{Tp}{3600 \eta} = 4,26$$

Quindi il numero di operatori realistico per questa linea di produzione manuale può essere stimata a 4.

## 6. Obiettivo da raggiungere

L'impianto deve garantire una produzione giornaliera di almeno **600 kit** di copri tunnel a fronte di una domanda annuale di 132000 kit. Per soddisfare questo target, la direzione della produzione ha previsto lavorare in 3 turni. Avendo fatto il bilanciamento prevedendo una cadenza giornaliera di 200 kit, risulta che per ogni turno di lavoro servirebbero 4 operatori per le 4 stazioni definite con una efficienza di 88%.

Il costo di produzione lavorando su 3 turni cambia in funzione del costo della mano d'opera che diventa:

<b>turni</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Livello di attività</b>	0-200	200-400	400-600
<b>ore</b>	8	16	24
<b>Mod</b>	4 operatori + 1 operatore di linea		
<b>Costo Mod(€)</b>	640 + 10% di 40*8 = 672	640 + 40*8 = 960	640+40*8 = 960
<b>Costo Mod (€/kit)</b>	3,36	4,8	4,8

### **Nota:**

- *il costo del responsabile di linea è 40 €/h*
- *il responsabile di linea lavora full time solo quando serve lavorare su più di un turno.*

---

Il costo medio della mano d'opera ( C<sub>Mo</sub>) è quindi:

$$C_{Mo} = \frac{3,36 + 4,8 + 4,8}{3} = 4,32 \text{ €/kit}$$

Quindi, il costo di produzione lavorando su 3 turni è :

$$C_p = C_{nc} + C_m + C_{attr} = 0 + 5,1 + 1,78 = 6,1$$

$$\mathbf{C_p = 6,1 \text{ €/kit}}$$

## CAPITOLO 3.

### LINEA DI PRODUZIONE SEMI-AUTOMATICA

In questo capitolo, si studierà la produzione Semi-automatizzata analizzando il caso in cui il copri tunnel viene prodotto per mezzo della macchina per incollaggio e la pressa con l'operazione di fiammatura eseguita manualmente cioè da un operatore. Grazie alle competenze e alla professionalità acquisita in tanti anni di quotidiano confronto con il mercato, l'azienda ha raggiunto un ottimo livello di competitività nella produzione di articoli per piccole e medie serie.



*Macchina Pressa*

La disposizione planimetrica dei macchinari e delle attrezzature, sono appunto tipiche di una tipologia per reparti, la quale presenta le seguenti caratteristiche:

- i macchinari sono disposti per raggruppamento omogeneo e permettono una maggiore flessibilità nella produzione

- bassa efficienza del reparto dovuta appunto ai numerosi tempi morti, come gli attrezzaggi.



*Macchina per Incollaggio*

### La fase di Incollaggio:

Viene usato la colla PUR, la poliuretana reattiva. Infatti questa operazione consiste nello spruzzamento della colla sulle sagome (nere o beige).

Infatti, questa fase consiste sta volta ad accendere la macchine e ad aspettare che raggiunga la temperatura di esercizio. Poi, posizionare sul tappeto roulant inferiore della macchina 2 moquette (con il vellutino a vista) spingendoli in avanti finchè il tappeto non è in grado di movimentarli in autonomia.

A fine ciclo, ritirare i pezzi dal tappeto superiore ed appoggiarli sui rispettivi cavalletti (1 - DX e 2 - SX) il più possibile vicino alla pressa.



### La pressatura:

Questa operazione consiste nel prendere i corpi stampati (DX e SX) dalla scatola e montarli, Sistemare le sagome fustellate precedentemente incollate e depositate sul cavalletto nelle apposite dime e premere il tasto di avvio ciclo.



## **1. Dimensionamento e Bilanciamento della linea ( Uso Macchina Incollaggio+ pressa )**

La macchina per incollaggio moquette accesa deve raggiungere la temperatura di esercizio e l'operatore deve inserire le moquette (lato destro e sinistro) cioè posizionarle sul tappeto roulant inferiore e spingerle in avanti finchè il tappeto non sia in grado di movimentarle in autonomia. La moquette incollata esce sul tappeto roulant superiore.

L'operatore deve inserire nello stampo della macchina Pressa il corpo stampato (i due lati) e posare le sagome fustellate incollate (moquette) negli appositi spazi e poi attivare il forno per montarli.

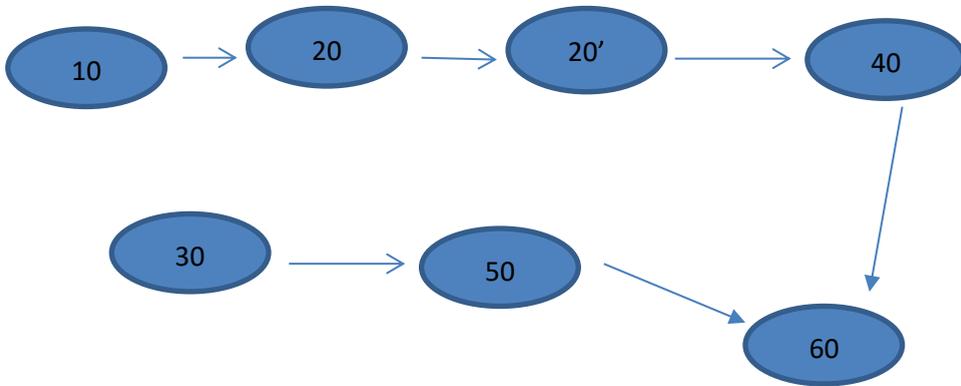
### **a. Tempi degli operazioni e sequenza delle operazioni**

Ad ogni operazione viene associato un tempo di esecuzione, il cui valore viene stabilito tramite un Rilievo cronometrico. Questa metodologia

consiste nel rilevare più volte il tempo di esecuzione di ogni operazione, facendola svolgere da operatori differenti in diverse condizioni fisiche e ambientali. Si noterà come ogni volta si ottiene un risultato diverso, attraverso cui verrà poi calcolato il tempo normale di esecuzione

<b>id</b>	<b>operazioni</b>	<b>Tempo Mek</b>	<b>Attrezzatura</b>
10	fiammatura	97	
20	Incollaggio	89	Macchina
20'	Pressatura	140	Macchina
30	Applicazione mollette	34	-
40	Conformatura	9	-
50	Poka yoke	36	-
60	Collaudo	85	-
<b>Totale</b>		<b>490</b>	

## ❖ Sequenza delle operazioni



### b. Definizione delle stazioni

Data la difficoltà nel risolvere il problema dell'assegnazione delle operazioni alle diverse stazioni, vengono per lo più utilizzati dei metodi euristici), che focalizzandosi ora su un obiettivo, ora su un altro, rendono disponibili in tempi brevi alcune soluzioni ritenute ammissibili, ma che non sempre costituiscono la soluzione ottima. Quindi si proverà a definire le varie stazioni di lavoro cercando di saturarle completamente e di minimizzare il numero di operatori totale utilizzando un metodo analitico che tiene conto del fatto che ad una stessa stazione di lavoro possano essere assegnate delle operazioni. Gli algoritmi euristici presi in considerazione sono:

- Largest Candidate Rule;
- Kilbridge e Wester;
- Ranked Positional Weight;
- Most Following task;
- Comsoal;
- Kottas Lau.

---

Tutti questi metodi euristici possono essere utilizzati sia in caso di tempi deterministici sia stocastici: nel primo caso si ha la stessa situazione per cui il metodo risolutivo sarà analogo con la saturazione totale delle stazioni e la minimizzazione del numero di operatori necessari. Nel secondo caso, invece, si procede provando diversi livelli di saturazione delle stazioni e facendo il conto ogni volta del costo totale che ne risulta, comprensivo di quello di mancato completamento: la scelta ricadrà pertanto sul livello di saturazione che renderà minimo il costo totale unitario per ultimare il prodotto.

### ***Metodo ranked positional weights***

Questo metodo prevede di calcolare un indice, indicato con RPW (Ranked Positional Weight), per ogni elemento. Tale indice viene calcolato come la somma dei  $T_{ek}$  delle operazioni elementari che seguono una data operazione del diagramma delle precedenze. Il bilanciamento di una linea effettuato tramite il metodo Ranked Positional Weight minimizza ancora una volta il costo della manodopera e risulta essere forse più preciso e completo del metodo della saturazione parziale del tempo ciclo, in quanto non tiene conto solo dei tempi di esecuzione di ogni operazione elementare, ma ingloba anche i tempi di esecuzione delle attività seguenti a quella in questione, misurando tramite un indice la quantità di tempo ancora necessaria per ultimare il prodotto da realizzare.

Tale indice è proprio il Ranked Positional Weight (RPW), che va dunque calcolato per ogni operazione elementare, tramite la formula seguente:

$$RPW_j = t_j + \sum_{h \in S_j}^{ne} T_h$$

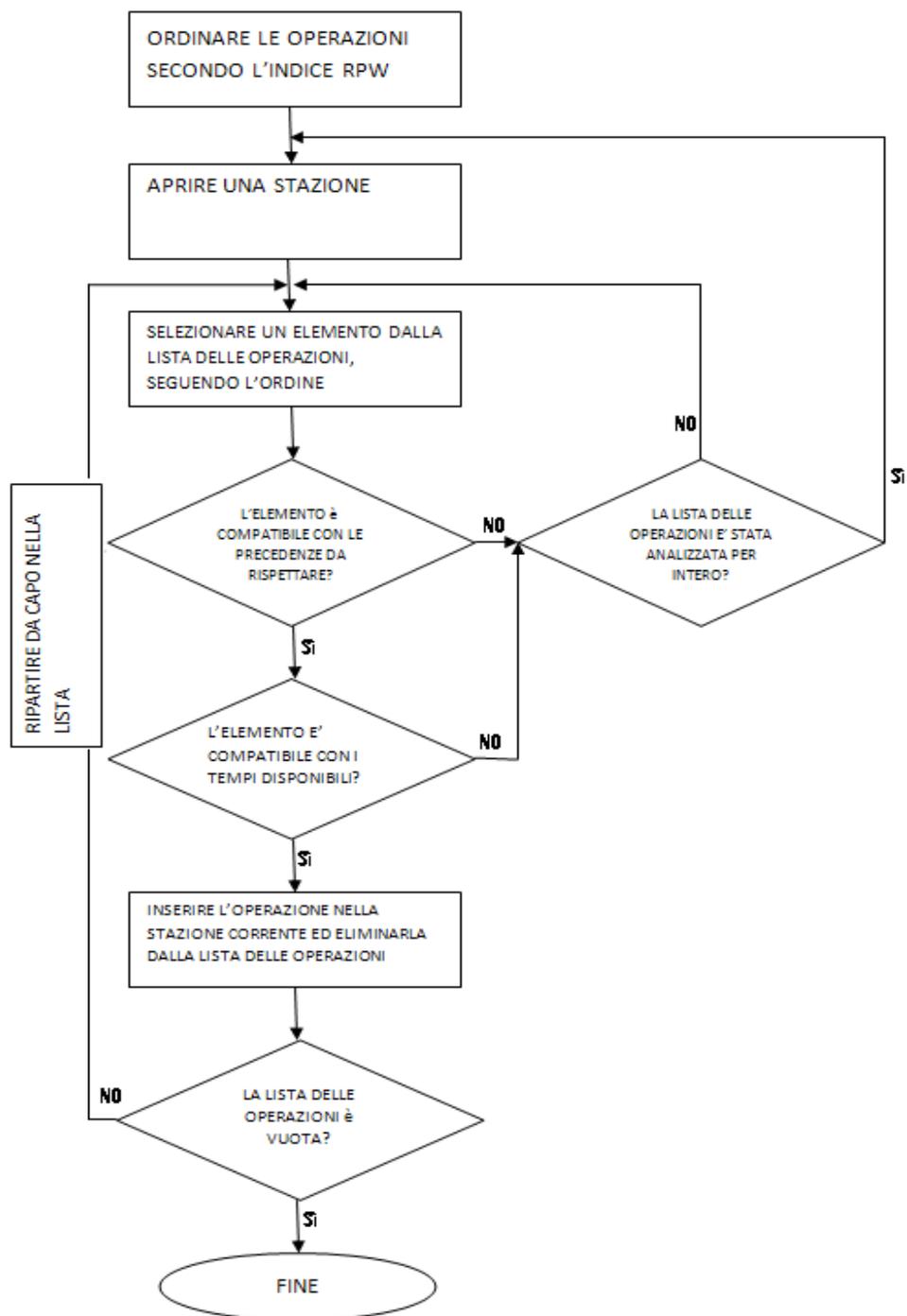
Con  $RPW_j$  che rappresenta il punteggio associato al task  $j$ ,  $t_j$  che rappresenta la durata di ogni task, con  $S_j$  l'insieme di tutti i task che succedono il task  $j$  e con  $T_h$  che rappresenta la durata del task  $h$  appartenente all'insieme dei successori del task  $j$ .

---

Gli step da seguire per implementare questo metodo vengono pertanto descritti in seguito.

- ✓ **Step 1:** Calcolare per ogni operazione elementare l'indice RPW tramite la formula riportata sopra.
- ✓ **Step 2:** Disporre le operazioni elementari in ordine decrescente in base all'indice RPW calcolato con lo step 1.
- ✓ **Step 3:** Inserire nell'ordine così generato le varie operazioni nelle stazioni, compatibilmente con le precedenze tecnologiche individuate, ripercorrendo ogni volta l'elenco dall'inizio e sommando di volta in volta i tempi di esecuzione delle singole operazioni (senza più contare il relativo indice RPW), fino a che non ci sono più operazioni da inserire compatibilmente sia alle precedenze tecnologiche sia al tempo ciclo stabilito per ogni stazione.
- ✓ **Step 4:** Ripercorrere l'elenco delle operazioni dall'inizio ed istituire una nuova stazione, assegnando le relative attività come indicato nello step 3.
- ✓ **Step 5:** Tornare allo step 4 fino a che tutte le operazioni inerenti al ciclo di montaggio del prodotto da realizzare sono state assegnate alle varie stazioni.

Di seguito, per maggiore chiarezza visiva, viene riportato un diagramma di flusso relativo al procedimento appena descritto nella figura:



Sulla base dei valori di RPW ottenuti è quindi possibile ottenere una lista ordinata, per valori di RPW decrescenti, sulla quale effettuare gli stessi passi visti nel metodo usato nel capitolo 1.

id	operazioni	tempo Tek (sec)	RPW(sec)	precedenze
60	Collaudo	85	85	40;50
40	Conformatore	9	94	20'
50	Poka Yoke	36	121	30
30	Applicazione mollette	34	155	-
20'	Pressatura	140	183	20
20	Incollaggio	89	323	10
10	Flammatura	97	420	-

Sempre con l'obiettivo di **minimizzare (Tmax - Tpi)** con  $i = 1, \dots, w$  e **Tmax**, il tempo su cui si gioca questo bilanciamento e  $T_r$  il tempo di riposizionamento ( $T_r=3$ );

### Stazione 1

Operazione	descrizione	Tek	precedenze
10	Fiammatura	97	-
30	Applic. molette	34	-

---

$Tp1 = 131 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp1 = 141 - 131 = 10 \text{ sec}$

### Stazione 2

operazione	descrizione	Tek	Precedenze
20	Incollaggio	89	10
50	Poka yoke	36	30

$Tp2 = 125 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp2 = 16 \text{ sec}$

### Stazione 3

Operazione	descrizione	Tek	precedenze
20'	pressatura	140	20

$Tp3 = 140 \text{ sec}$  ;  $Tmax - Tp3 = 141 - 140 = 1 \text{ sec}$

### Stazione 4

operazione	descrizione	Tek	Precedenze
40	Conformatura	9	20'
60	Collaudo	85	40,50

$Tp4 = 94 \text{ sec}$  ,  $Tmax - Tp4 = 47 \text{ sec}$

**NOTA:** Questa linea, in questo caso, porta alla medesima soluzione ottenuta applicando il metodo della saturazione parziale del tempo ciclo.

---

## 2. Monitoraggio della linea (bilanciamento dei carichi lungo la linea)

Una volta stabilito il numero di stazioni lavorative relative al processo produttivo in linea, ci poniamo un problema immediatamente successivo in termini di importanza, ovvero il problema del bilanciamento dei carichi delle stazioni di una linea di produzione. Sia  $w'$  il numero di stazioni attivate, Definiamo il **carico medio di una linea di produzione** come segue:

$$\mu = \frac{Tp}{w'} = \frac{\sum C_j}{w'}$$

ovvero la media matematica sul numero di stazioni attivate del parametro  $Tp$ . Definiamo inoltre il concetto di **sbilanciamento  $SB_j$  di una stazione  $j$**  come lo scostamento del suo carico  $C_j$  dal suo valore medio, ovvero:

$$SB_j = |C_j - \mu|$$

Analogamente si definisce sbilanciamento di una linea:

$$SB \text{ linea} = \sum_{j=1}^{w'} SB_j$$

ovvero la somma degli sbilanciamenti delle singole stazioni. A questo punto si può parlare di bilanciamento di una linea come una ripartizione dei carichi di lavoro più omogenea possibile, al limite (se questo è possibile) esattamente uguali gli uni agli altri, ovvero:

$$C_j = \mu \quad \text{per ogni } j=1, \dots, w'.$$

In quest'ultimo caso particolare parleremo di **bilanciamento perfetto**.

Quindi :

---

$$\mu = \frac{Tp}{w'} = \frac{\sum Cj}{w'} = 490/4 = 122,5 ;$$

$$SB \text{ linea} = \sum_{j=1}^{w'} SBj = SB1 + SB2 + SB3 + SB4$$

$$SB1 = |131 - \mu| = |131 - 122,5| = 8,5$$

$$SB2 = |125 - \mu| = |125 - 122,5| = 2,5$$

$$SB3 = |140 - \mu| = |140 - 122,5| = 17,5$$

$$SB4 = |94 - \mu| = |94 - 122,5| = 28,5$$

**SB linea = 57**

In questa sezione ci occuperemo di formulare il problema del bilanciamento dei carichi in una linea di produzione. In questo caso, la funzione obiettivo sarà immediatamente ottenibile dalle definizioni sopra date, e cioè:

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{w'} |Cj - \mu| = \text{SB linea}$$

La cella di lavorazione viene configurata in modo da fare lavorare le macchine in parallelo in modo che siano supervisionate da meno di 2 operatori. In questo caso, bisogna ridefinire le stazioni in modo da fare stare l'operazione di incollaggio e quella di pressatura in una stessa stazione.

Avremmo:

- un operatore che, mentre la pressa lavora, fa le operazioni di incollaggio e conformatura.
- Un operatore che si occuperà delle operazioni di flammatura e Applicazione mollette
- Un operatore che farà il collaudo e il pokayoke

Con questo bilanciamento dei carichi si può definire, sempre rispettando il vincolo di precedenza 3 stazioni di lavoro invece di 4 come visto precedentemente:

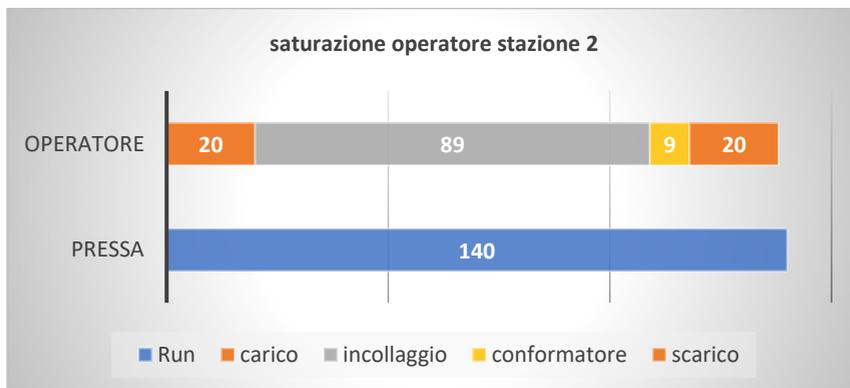
Stazione	operazione	Tempo Macchina	Tempo uomo
1	10,30	-	131
2	20,20',40	140	s/c +89+9
3	50,60	-	121

➤ Saturazione dell'operatore (So)

la saturazione dell'operatore **So** è il rapporto tra il Tempo uomo e il Tempo macchina.

**Stazione 1** So1 = 100%

**Stazione 2** So2 = 98,57%



**Stazione3** So3 = 100%

---

Quindi l'introduzione delle macchine è stata utile per ridurre appunto quasi fino all'annullamento le perdite di tempo (tempo di ozio dell'operatore) nelle varie stazioni.

### 2.1. Trade-off tra dimensionamento e bilanciamento della linea

L'obiettivo di dimensionamento di una linea di produzione non è in generale ottenibile utilizzando un obiettivo di minimizzazione del carico massimo su di un numero di stazione lavorative. Questo è intuibile dal fatto che più stazioni si hanno a disposizione e più ne verranno utilizzate dato che questo comporta un minor carico di lavoro per le stazioni e quindi una conseguente riduzione del carico massimo. Il caso limite delle  $n$  stazioni è quello a cui corrisponde il minor carico possibile per stazioni attivate, dato che il carico massimo coinciderebbe con la massima durata delle operazioni e non può essere più piccolo di questo valore.

Dall'altra parte meno sono le stazioni lavorative attivate e più queste saranno "cariche", fino ad arrivare al caso limite di avere un'unica stazione che rappresenta il massimo carico assoluto che si può avere, e che corrisponde al tempo delle operazioni  $T_p$ .

## 3. Valutazione economica

Sempre considerando il costo di completamento delle operazioni fuori linea nullo, il costo di produzione  $C_p$  (Euro/kit) può essere espresso come:

$$C_p = C_{mo} + C_{nc} + C_{att}$$

Si può dedurre dal bilanciamento effettuato che per 8 ore di lavoro programmato e per una produzione di **200kit/turno cioè di 25kit/h**, le attrezzature non impegnano lo stesso quantitativo di ora.

Facendo il rapporto tra il periodo considerato(3600 secondi) e il tempo medio di ogni operazione, si ottiene il numero di pezzi che l'attrezzatura è in grado di produrre per ora.

Considerando che la pressa (collo di bottiglia) lavora per 8h pieno, il numero di ore operativo delle altre attrezzature avranno come riferimento il tempo medio della pressa(140 secondi).

**Ad esempio:**

$$\text{numero kit di fiammatura} = \frac{3600}{97} = 37 \quad \text{e} \quad \text{ore flammatura} = \frac{97 \times 8}{140} = 5,5$$

Quindi si ha:

Operazioni	Flammatura	incollaggio	pressatura	conformatore	Poka yoke	Applicazioni molette	collaudo
Ore (h)	5,5	5	8	0,5	2	2	4,9
Kit prodotti/ ora	37	40	25	400	100	106	42

attrezzatura	quantità	Costo orario( €/h)	Ore impegnate(h)	costo totale( €)
Flammatore	1	20	5,5	110
Macchina Incollaggio	1	25	5	125
pressa	1	40	8	320
Poka yoke	1	20	2	40
conformatore	1	20	0,5	10
<b>Totale</b>				<b>605</b>

$$\text{costo attrezzatura} = \frac{605}{200} = 3 \text{ €/kit}$$

Tipo Mdo	quantità	ore	costo uni( €)	costo totale ( €)
operatore di linea	2	8	20	320
	1	5	20	100
responsabile di linea	1	8	10% di 40	32
<b>totale</b>		8		<b>452</b>

$$\text{costo Mdo} = 452/200 = 2,26 \text{ €/kit}$$

$C_{nc} = \sum(1 - pk)Ik \approx 0$  Quindi il costo di completamento delle operazione è quasi nullo.

quindi

$$C_p = C_{nc} + C_m + C_{attr} = 0 + 3 + 2,26 = \mathbf{5,26 \text{ €/kit}}$$

Dovendo raggiungere una produzione minima giornaliera di 600 kit/gg si dovrà lavorare su 3 turni:

Il costo di produzione in questo caso cambia in funzione del costo della mano d'opera e diventa:

turni	1	2	3
<b>Livello di attività</b>	0-200	200-400	400-600
<b>ore</b>	8	8	8
<b>Mod</b>	4 operatori + 1 operatore di linea		
<b>Costo Mod (€)</b>	$420 + 10\% \text{ di } 40 \cdot 8$	$420 + 40 \cdot 8$	$420 + 40 \cdot 8$
	= 452	= 740	= 740
<b>Costo Mod (€/kit)</b>	2,26	3,7	3,7

**Nota:** l'operatore di linea lavora full time solo quando serve lavorare su più di un turno.

Il costo medio della mano d'opera ( C<sub>Mo</sub>)è quindi:

$$C_{Mo} = \frac{2,26 + 3,7 + 3,7}{3} = 3,22 \text{ €/kit}$$

---

Quindi, il costo di produzione lavorando su 3 turni è :

$$C_p = C_{nc} + C_m + C_{attr} = 0 + 3,22 + 3 = 6,22$$

$$C_p = 6,22 \text{ €/kit}$$

#### 4. Efficienza di bilanciamento:

È opportuno calcolare, in riferimento al bilanciamento scelto, l'efficienza:

$$EFF = \frac{\sum_{i=1}^k \text{workstation load}}{w \cdot T_{max}}$$

con il termine workstation load si intende il carico di lavoro assegnato ad ogni stazione che si è deciso di utilizzare, con k si intende il numero delle stazioni scelte e con  $T_{max}$  si intende il tempo ciclo al netto del tempo di riposizionamento dato inizialmente.

$$EFF = \frac{131+140+121}{3 \times 141} = \frac{392}{423} = 0,93$$

Quindi:

$$EFF = 93\%$$

---

## **CAPITOLO 4.**

### **LINEA DI PRODUZIONE AUTOMATICA**

Le linee di questo tipo sono speciali processi di produzione di tipo flow-line largamente utilizzati quando è necessario produrre grossi volumi di prodotti fortemente standardizzati. I prodotti sono caratterizzati da una distinta base più o meno complessa, che richiede, pertanto, una corretta gestione dell'approvvigionamento dei componenti; L'utilizzo di una linea automatica è favorito da un grosso volume dei prodotti da assemblare; da prodotti caratterizzati da una distinta base simile o identica (Group technology), dalla possibilità di suddividere tutte le attività previste in piccoli gruppi di lavoro, dalla difficoltà o impossibilità di automatizzare determinate operazioni. L'obiettivo di automatizzare la fabbricazione del copri tunnel è quello di arrivare ad aumentare il volume produttivo, a risparmiare sui costi di produzione così come della mano d'opera. La decisione renderà più facile per l'azienda concentrare la produzione altrove.

L'automatismo nel nostro studio consiste nell'introdurre il robot (per svolgere l'operazione di fiammatura) e le macchine per le operazioni di incollaggio e pressatura del fustellato sul corpo stampato.

#### **1. Descrizione delle operazioni**

- La plasmatura :

Questa operazione ha lo stesso scopo della fiammatura quindi quello di trattare, pulire e attivare la superficie del corpo plasmato. Però viene

eseguita da un robot. Il robot antropomorfo è equipaggiato con torce di plasmatura. La postazione di lavoro rispetta gli standard di ergonomia e funzionalità e garantisce la sicurezza dell'operatore nelle manovre di carico e scarico, attraverso l'utilizzo delle barriere fotoelettriche. L'interazione con la macchina, da parte dell'operatore, è permessa attraverso un touch-screen tramite il quale è possibile gestire le varie funzioni della stessa. L'operatore serve solo per il carico/scarico dei pezzi sul robot. Il trattamento interviene su: l'adesività, l'affinità e inerzia chimica, la bagnabilità, la biocompatibilità, la capillarità, la forza dei legami, la lubrificazione, la protezione ed antiusura, la pulizia e sterilizzazione.



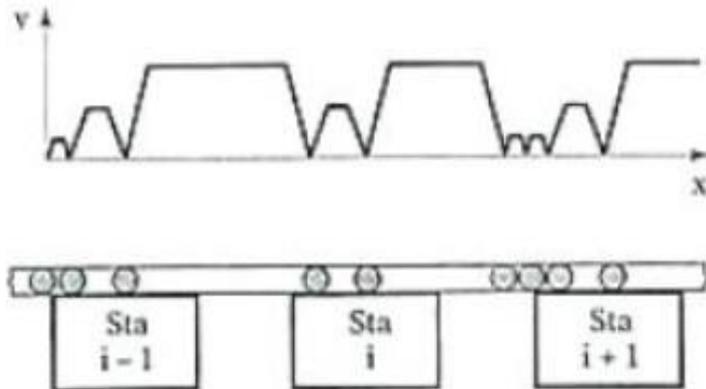
- 
- L'applicazione della colla e la pressatura:

Queste operazioni vengono eseguite da 2 macchine, le stesse viste nel capitolo precedente. Solo che l'azienda con l'obiettivo di aumentare la produzione giornaliera visto l'incremento della domanda sul mercato ha portato qualche modifica in termine di velocità e di efficienza. I nuovi sistemi di incollaggio automatici sono stati appositamente progettati per fornire: Maggiore produttività - Alta precisione, Alta velocità - Interfaccia semplice ed intuitiva, estrema flessibilità - facilità di gestione, Eliminazione dei tempi morti - Massima efficienza del sistema , Bassi costi di esercizio e di manutenzione - Economicità dei materiali di consumo, Facilità di calcolo costi del lavoro - Minimo impatto ambientale.

Questi requisiti giustificheranno la differenza dei tempi di esecuzione delle operazioni di incollaggio e di pressatura del capitolo corrente con quelli usati al capitolo 3.

## 2. linea di produzione asincrona

il sistema di trasporto usato in questa linea prevede che il trasferimento tra stazioni differenti avviene in modo manuale cioè l'operatore muove le scatole di semilavorati da una stazione all'altra. La linee di produzione è asincrona nel senso che prevede un movimento discontinuo dei semilavorati attraverso le varie stazioni, indipendentemente l'uno dall'altro. Così facendo si rende **le stazioni indipendenti tra di esse**, causando talvolta delle piccole code in entrata alle stazioni, ma aumentando allo stesso tempo ancora di più la flessibilità dei tempi per ultimare le operazioni delle varie stazioni. A causa dei diversi tempi di lavoro per ogni stazione e per evitare eccessive code in entrata, si rendono necessari dei buffer per mantenere la linearità del processo e svincolare ancora di più una stazione dall'altra. La figura sottostante mostra una rappresentazione schematica del sistema appena descritto:



sistema di trasporto asincrona e movimento discontinuo

### 3. Determinazione dei tempi di ogni operazione

A ciascuna delle operazioni da svolgere è necessario attribuire un tempo per la sua esecuzione. I tempi necessari dipendono da: Tipo di operazione, Attrezzatura disponibile, Assieme e suo posizionamento, destrezza operatore e livello di automazione.

ID	operazioni	Tempo Mek	Attrezzatura
10	Plasmatura	50	Robot
20	Incollaggio	68	Macchina
20'	Pressatura	85	Macchina
30	Applicazione moletta	34	-

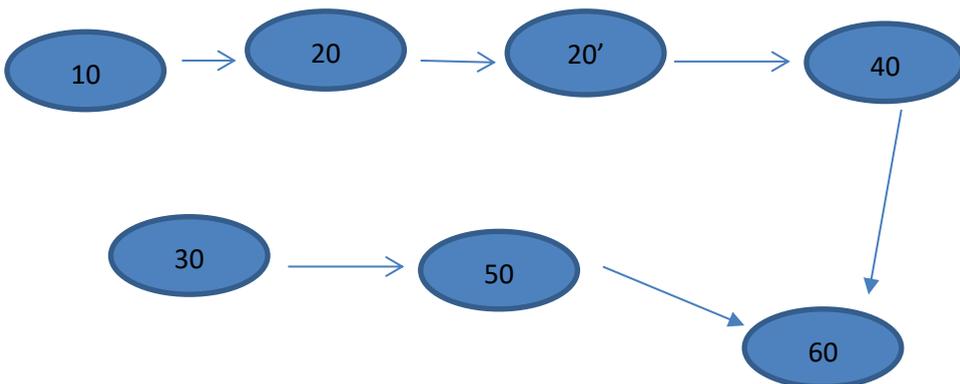
40	Conformatura	9	-
50	Poka yoke	36	-
60	Collaudo	50	-
<b>Totale</b>		<b>332</b>	

### 3.1. Cadenza e sequenza delle operazioni

La linea di produzione automatica del Copri tunnel richiede la soddisfazione di una produzione minima (produzione imposta) di **320 kit/gg** ovvero di **40 kit/ora** . L'impianto deve garantire una produzione giornaliera di almeno 600 kit al giorno per prevedere la variabilità della domanda. Il tempo ciclo quindi  $T_c$  è :

$$T_c = \frac{3600 \left(\frac{sec}{h}\right)}{40} = 90 \text{ sec/kit}$$

#### ❖ Sequenza delle operazioni



---

#### 4. Bilanciamento della linea automatica

Il bilanciamento della linea verrà analizzato ampiamente nel caso della linea di produzione automatica e consiste nell'assegnare un opportuno numero di operazioni a ciascuna stazione (alla quale verrà associato uno o più operatori ) con l'obiettivo di ripartire il più equamente possibile il carico di lavoro tra le varie stazioni, in linea con quanto spiegato fino ad ora.

Il tempo di produzione  $T_p$  ,  $T_p = \sum M e_k$  è  $T_p = 332$  secondi

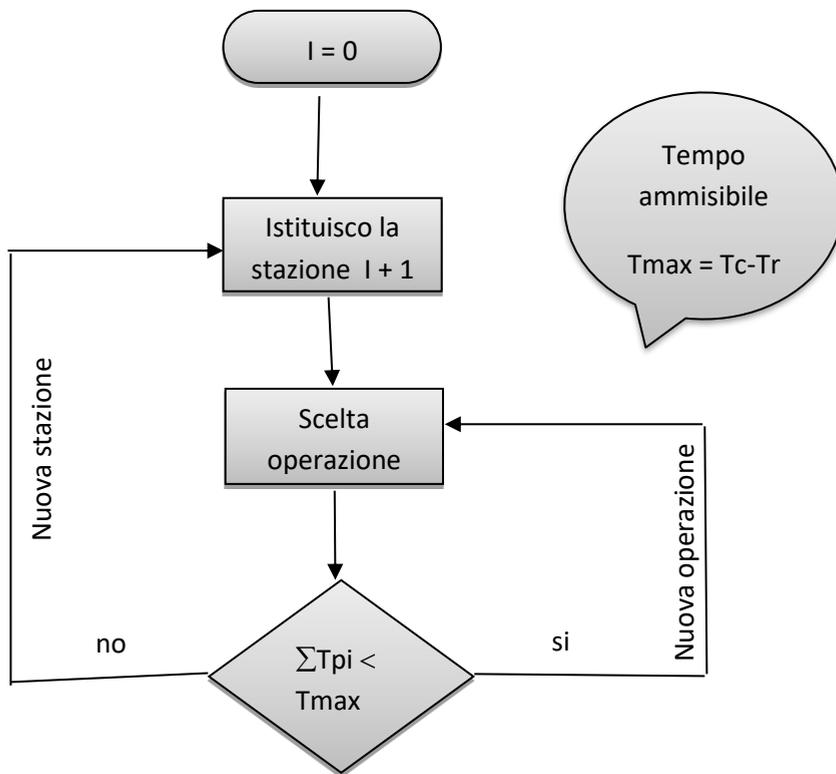
E quindi il numero delle stazioni  $w = T_p / T_c = 3,6$

Quindi  $w = 4$  ;

Il tempo di riposizionamento ovvero il tempo necessario in ogni stazione per permettere all'operatore di riposizionarsi o all'unità di portarsi nella zona di lavoro è assunto pari a  $T_r = 3$  sec.

##### **Metodo del massimo grado di saturazione imposto:**

Con l'obiettivo di **minimizzare**  $(T_{max} - T_{pi})$  con  $i = 1, \dots, w$  e  $T_{max}$ , il tempo su cui si gioca questo bilanciamento , si può applicare il metodo del "massimo grado di saturazione imposto" per definire le stazioni, che riassumendo va schermato come:



#### 4.1. Definizione delle varie stazioni:

##### Stazione 1

Operazione	descrizione	Tek(sec)	precedenze
10	plasmatura	50	-
30	Applic. molette	34	-

Tp1= 84 ; Tmax-Tpi = 87- 84 = 3 sec

## Stazione 2

Operazione	descrizione	Tek(sec)	precedenze
20	Incollaggio	68	10
40	conformatura	9	-

$T_{p2} = 77$  ;  $T_{max} - T_{pi} = 87 - 77 = 10$  sec

## Stazione 3

Operazione	descrizione	Tek	precedenze
20'	pressatura	93	20

$T_{p3} = 93$  ;  $T_{max} - T_{pi} = 87 - 85 = 2$  sec

## Stazione 4

Operazione	descrizione	Tek	Precedenze
50	Poka yoke	36	30
60	collaudo	50	20',40,50

$T_{p4} = 86$  ;  $T_{max} - T_{pi} = 87 - 86 = 1$  sec

*Con il metodo del massimo grado di saturazione imposto* siamo arrivati a definire 4 stazioni di lavoro non considerando però che la macchina di incollaggio e la pressa possono essere utilizzate parallelamente e nella stessa stazione di lavoro.

Quindi per ottimizzare il bilanciamento dei carichi nelle diverse stazioni, definiremmo 3 stazioni di lavoro con l'aiuto della **Carta UOMO-MACCHINA**.

---

## 4.2. La carta Uomo – Macchina

La carta Uomo – Macchina è un modello descrittivo analogico, che evidenzia graficamente, in funzione del tempo, le relazioni uomo – macchina. Essa consiste nel disegnare passo per passo ogni azione che viene eseguita sia dalle macchine che dall'operatore. Tutte le azioni di ogni agente sono legate tra di loro: se l'operatore sta servendo una macchina, le altre o staranno svolgendo il ciclo di lavorazione oppure saranno in attesa che l'operatore sia libero di servirle. Durante ogni ciclo produttivo sia le macchine sia gli operatori eseguono delle operazioni che vengono ripetute continuamente. Queste operazioni sono :

- tempo di RUN: tempo in cui la macchina lavora
- tempo di LOAD & UNLOAD: tempo impiegato dagli operatori per caricare e scaricare la macchina;
- tempo di INSPECT: tempo per ispezionare se la lavorazione effettuata sul pezzo corrisponde a quanto riportato sul foglio delle istruzioni di lavoro;
- tempi di OZIO MACCHINA: tempo in cui la macchina è in attesa dell'operatore;
- tempi di OZIO OPERATORE: tempo in cui l'operatore ozia ed è in attesa che la macchina termini il suo tempo di Run;

Le operazioni che interessano le macchine sono Run time, mentre quelle che interessano gli operatori sono Unload, Load, Inspection. L'operatore serve le macchine partendo dalla prima disponibile, passando poi alla successiva.

In questa sessione, la linea è costituita da 2 macchine e un robot ed potendo fare lavorare la macchina per incollaggio nello stesso momento con la pressa, useremo i tempi descritti sopra per il calcolo dei coefficienti di utilizzo di ogni singola macchina e degli operatori, cioè si andrà a valutare il modo in cui la linea è attualmente sfruttata.

**Il tempo di ciclo ripetitivo è:**

$$TCR = Run + L + U$$

mentre **il tempo Ozio dell'operatore è:**

$$O \text{ ozioso} = Run + (L + U) - n(I + L + u)$$

**n:** numero di macchine identiche che nel nostro caso sarebbe **n=1**.

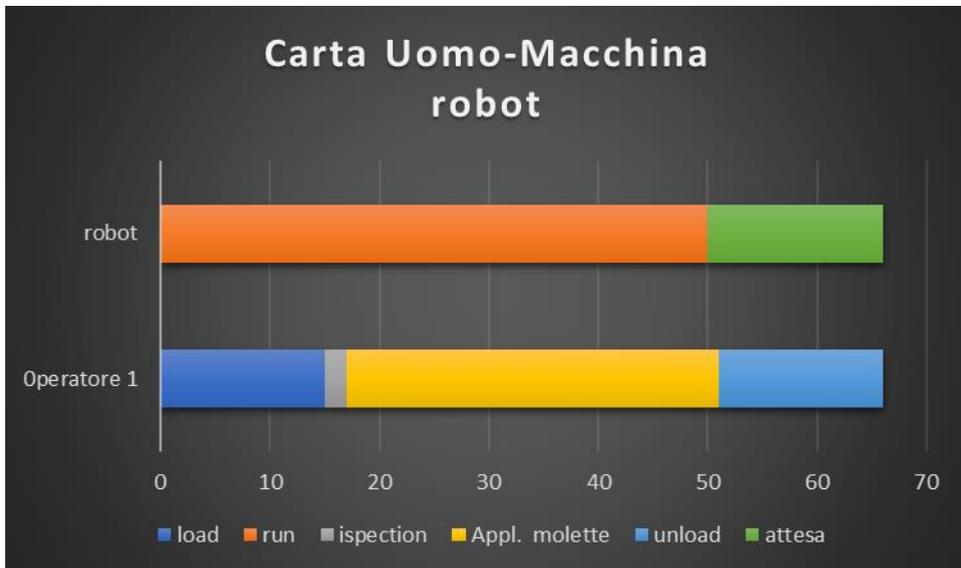
**Il coefficiente di utilizzo dell'operatore è:**

$$U_{operatore} = \frac{L + U + I}{L + U + I + O_{ozio}}$$

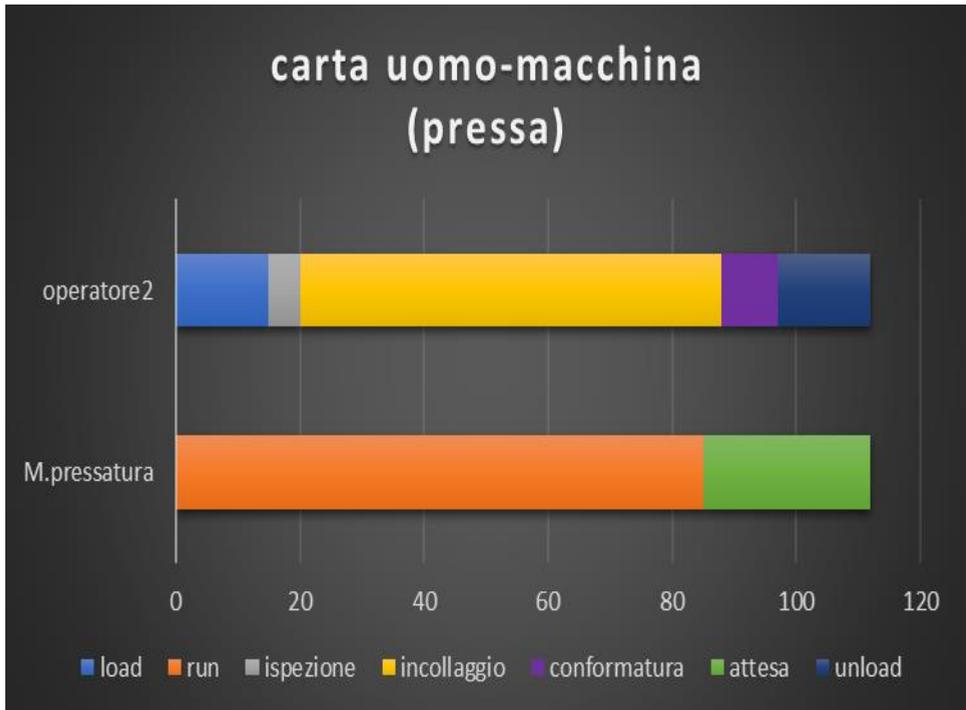
	<b>Robot</b>	<b>Macchina incollaggio</b>	<b>Macchina pressa</b>
<b>Run (sec)</b>	50	68	85
<b>L+U (sec)</b>	15 + 15	-	15 + 15
<b>I (sec)</b>	8	-	10
<b>O ozioso (sec)</b>	12	-	45
<b>Uoperatore(%)</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>47</b>

- ✓ Per ridurre il tempo di ozio dell'operatore, l'operatore che lavora insieme al robot si occuperà di inserire le mollette sulla paratia (operazione che dura 34 secondi /kit) e questo ci permetterà di ridurre il tempo perso quindi di migliorare il coefficiente di utilizzo

dell'operatore. Si può vedere la rappresentazione grafica nella seguente figura:



- ✓ La pressa è stata configurata per consentire ad un operatore di lavorare allo stesso tempo sulla macchina per incollaggio. Quindi per ridurre il tempo di ozio dell'operatore, l'operatore dopo aver caricato i pezzi nella pressa, farà l'operazione di incollaggio e la conformatura. Si ricorda che la conformatura è una operazione che deve essere fatta subito dopo la pressa siccome la colla sulla paratia è ancora attiva. La figura che segue ci dà la rappresentazione grafica del caso in questione:



- ✓ Per quanto riguardano l'operazione di collaudo e il poka yoke che sono puramente manuali, se ne occuperà un terzo operatore che farà anche l'imballaggio e le varie registrazioni. Il coefficiente di utilizzo dell'operatore è quindi il 100% in questa stazione.

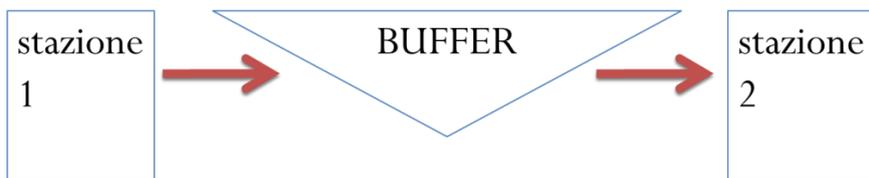
Abbiamo così definito le 3 nuove stazioni che possiamo riassumere come:

Stazioni	operazioni	Tsi
1	10; 30	84
2	20;20'; 40	170
3	50, 60	86

### 4.3. Necessità di buffer

Dal punto di vista gestionale questo sistema produttivo introduce profondi cambiamenti nell'organizzazione della produzione: un adeguato sfruttamento della capacità produttiva è consentito dall'uso dei buffer per permettere un flusso continuo dei materiali lungo la linea produttiva. L'unica alternativa alla creazione di costose scorte lungo le stazioni di lavoro è costituita dalla sincronizzazione e dal perfetto bilanciamento delle capacità produttive in modo da evitare la creazione di colli di bottiglia.

Questo processo produttivo prevede diversi gruppi di attività, collegate attraverso flussi, quindi servono dei buffer interni cioè l'immagazzinamento tra stazioni, gli output di una stazione vengono collocati in una apposita area prima di essere impiegati nella stazione successiva. A causa dei diversi tempi di lavoro per ogni stazione e per evitare eccessive code in entrata, si rendono necessari dei buffer per mantenere la linearità del processo e svincolare ancora di più una stazione dall'altra



Il buffer è di un uso capitale per rendere parzialmente indipendenti le lavorazioni e per impedire il verificarsi del fenomeno di Bloking (il bloking si verifica quando le attività di una stazione devono interrompersi perché non vi è luogo dove depositare l'articolo appena completato) e di

---

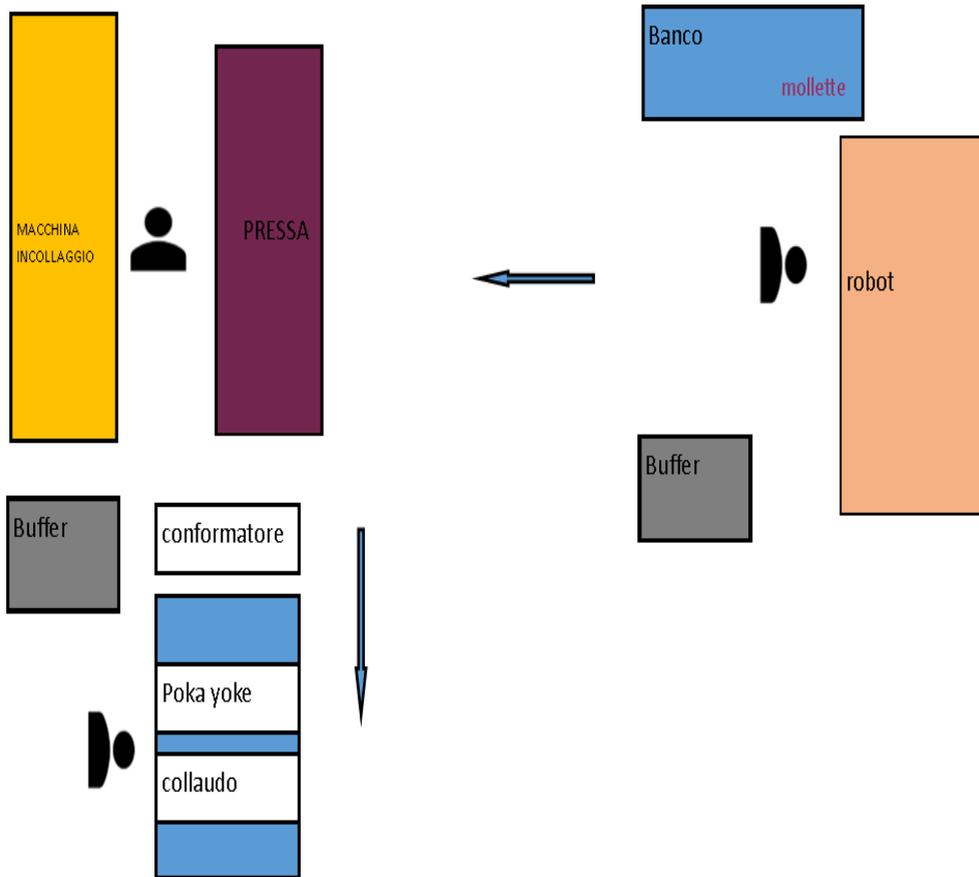
Starving (si verifica quanto le attività di una fase devono interrompersi perché non vi è lavoro da compiere).

### Il collo di bottiglia



## 5. Layout della linea

Il layout riguarda la disposizione planimetrica di tutte le risorse necessarie allo svolgimento delle lavorazioni e comprende la progettazione ed il posizionamento degli spazi, delle macchine, delle attrezzature coerentemente con il sistema produttivo e il flusso dei materiali. La tipologia di layout scelta è la disposizione a catena che mira a collegare le macchine in base alla sequenza delle operazioni del ciclo produttivo. I pezzi lavorati si trasferiscono da una macchina all'altra. Esiste una stretta interdipendenza tra le diverse operazioni che costituiscono il processo produttivo ( un'inefficienza si riversa sull'intero sistema produttivo).



## 6. Valutazione economica

Sempre considerando il costo di completamento delle operazioni fuori linea nullo, il costo di produzione  $C_p$  (Euro/kit) può essere espresso come:

$$C_p = C_m + C_{att} + C_{nc}$$

Dal bilanciamento effettuato risulta che per 8 ore di lavoro programmato

e con una produzione di **320kit/turno cioè di 40kit/h**, le attrezzature non impegnano lo stesso quantitativo di ora.

Considerando che la pressa (collo di bottiglia) lavora per 8h pieno, il numero di ore operativo delle altre attrezzature avranno come riferimento il tempo medio della pressa(85 secondi).

**Ad esempio:**

$$\text{numero kit di plasmatura} = \frac{3600}{50} = 72 \quad \text{e}$$

$$\text{ore plasmatura} = \frac{50 \times 8}{85} = 4,7$$

<b>Opera zioni</b>	<b>plas matu ra</b>	<b>incolla ggio</b>	<b>press atura</b>	<b>confor mator e</b>	<b>Pok a yok e</b>	<b>Applica zione molett e</b>	<b>colla udo</b>
<b>Ore (h)</b>	4,7	6,4	8	0,8	3,38	3,2	4,7
<b>Kit prodo tti/ ora</b>	72	53	42	400	100	105	72

<b>attrezzatura</b>	<b>quantità</b>	<b>Costo orario( €/h)</b>	<b>Ore impegnate(h)</b>	<b>costo totale( €)</b>
Robot	1	30	4,7	141
Macchina Incollaggio	1	25	6,4	160
Pressa	1	40	8	320
Poka yoke	1	20	3,38	67,6
Conformatore	1	20	0,8	16
<b>Totale</b>				<b>704,6</b>

$$\text{costo attrezzatura} = \frac{704}{320} = 2,2\text{€/kit}$$

<b>Tipo Mdo</b>	<b>quantità</b>	<b>ore</b>	<b>costo uni( €)</b>	<b>costo totale ( €)</b>
operatore di linea	3	8	20	480
responsabile di linea	1	8	10% di 40	32
<b>totale</b>		<b>8</b>		<b>512</b>

$$\text{costo Mdo} = 512/320 = 1,6 \text{ €/kit}$$

Considerando il costo di completamento delle operazioni quasi nullo,

$$C_p = C_{nc} + C_m + C_{attr} = 0 + 2,2 + 1,6 = \mathbf{3,8 \text{ €/kit}}$$

Dovendo raggiungere una produzione minima giornaliera di 600 kit/gg si dovrà lavorare **su 2 turni**:

Il costo di produzione in questo caso cambia in funzione del costo della mano d'opera e diventa:

turni	1	2
Livello di attività	0-320	320-600
ore	8	8
Mod		
Costo Mod (€)	$480 + 10\% \cdot 40 \cdot 8$	$480 + 40 \cdot 8$
	= 512	= 800
Costo Mod (€/kit)	1,6	2,5

**Mod= 3 operatori + 1 Operatore di linea**

**Nota:** l'operatore di linea lavora full time solo quando serve lavorare su più di un turno.

Il costo medio della mano d'opera (CMo) è quindi:

---

$$CMo = \frac{1,6 + 2,5}{2} = 2,05 \text{ €/kit}$$

Quindi, il costo di produzione lavorando su 2 turni è :

$$Cp = Cnc + Cm + Cattr = 0 + 2,05 + 2,2 = 4,25 \text{ €/kit}$$

$$\mathbf{Cp = 4,25 \text{ €/kit}}$$

---

## CAPITOLO 5

# ANALISI DEI PARAMETRI PRESTAZIONALI CHIAVI DELLA LINEA

La produzione comprende i processi tecnologici di fabbricazione dei componenti del prodotto e il loro successivo assemblaggio, nonché i processi di supporto all'attività di trasformazione (manutenzione delle macchine, controllo di processo, gestione della qualità, movimentazione dei materiali).

### I. Processo produttivo

Il processo produttivo è una sequenza logica di azioni elementari (attività concatenate finalizzate alla trasformazione di materiali in prodotti (beni economici). È un processo che trasforma i fattori produttivi (materie prime, macchine, ore di lavoro umano, progettazione – genericamente indicati come inputs) in risultati (prodotti vendibili sul mercato, beni intermedi, inquinamento – genericamente indicati come outputs). Gli inputs e gli outputs sono definiti come flussi, cioè come erogazione di quantità fisiche per unità di tempo. Alcune **proprietà** di questa corrispondenza tra input e output sarebbero:

- L'efficienza : (se non si può produrre più outputs con lo stesso ammontare di inputs, ovvero non si può produrre gli stessi outputs con minori quantità di inputs).

- 
- La continuità : si può variare infinitesimamente l'output variando infinitesimamente l'input. Se la tecnologia ammette l'eliminazione senza costo (free disposal) degli input eccedenti, allora la funzione di produzione deve godere di...
  - Monotonicità: aumentando almeno un input l'output deve restare costante o aumentare
  - La concavità: aumentando anche un solo input l'output deve crescere, ma ad un ritmo progressivamente decrescente

La linea di produzione oggetto del nostro studio ha come unico output il copri tunnel mentre gli inputs sono il corpo stampato, le moquette e le mollette, la colla.

## 1. Diagramma produttivo

In figura viene rappresentato il processo produttivo del copri tunnel per la cui mappatura si è utilizzato lo standard ASME (American Society of Mechanical Engineering).

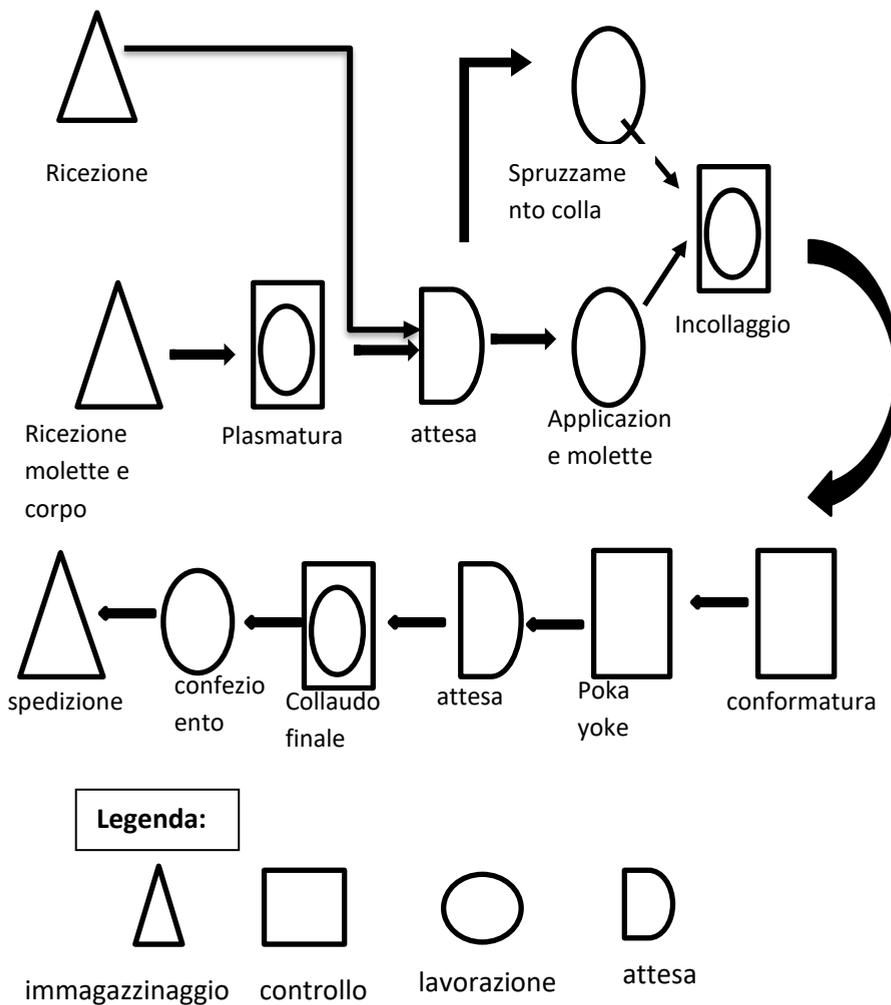


Figura Diagramma flusso operativo

## 2. La performance del processo produttivo

Misurare la performance di un processo equivale a definire:

- Produttività : input/output
- Tasso di utilizzo : Tempo effettivo di lavorazione/ tempo disponibile

- 
- Rendimento : Output effettivo/output standard
  - Tempo effettivo di lavorazione = tempo di attrezzaggio + tempo di produzione

Quindi per monitorare la produzione, si rende necessario definire 3 key performance indicators indispensabili : l'OEE, WIP/scarti , Servizio. Poiché le informazioni che emergono dal cruscotto sono strategiche e sono utilizzate per le decisioni aziendali, esse si devono ricavare con la massima precisione, puntualità e soprattutto in tempo reale. Il miglior modo per farlo è implementare in azienda un sistema software **MES** (Manufacturing Execution System) in grado di acquisire automaticamente i dati, di confrontarli e di rielaborarli per fornire cruscotti di analisi e monitoraggio KPI. Adottando il Visual Management cioè il processo con cui informazioni strategiche quali i KPI di produzione, efficienza e qualità vengono mostrati "visivamente" attraverso cruscotti grafici, la Leva S.p.A potrebbe aumentare il suo vantaggio competitivo mostrando direttamente agli operatori nel floor produttivo questi cruscotti per renderli consapevoli dell'andamento della produzione, responsabilizzandoli e rendendoli più motivati nel raggiungere gli obiettivi.

### *2.1. Overall Equipment Effectiveness (OEE )*

L'OEE ovvero l'efficienza generale dell'impianto è una metrica ottenuta attraverso più variabili ed è l'indicatore più "esigente" in quanto è condizionato da tutte le tipologie di inefficienze che portano ad una minore produttività. L'obiettivo è valutare le performance dell'impianto in termine di efficienza, vale a dire della sua capacità di sfruttare la capacità produttiva ideale contenendo le perdite di capacità dovute ad inefficienza di produzione come ad esempio, fermate dell'unità produttiva a causa di guasti, rallentamento o piccole fermate indesiderate, lavorazioni difettose. Successivamente verranno definiti dei sotto indicatori dell'OEE che favoriscono l'individuazione delle diverse

---

cause alla base delle perdite di efficienza ed alle quali sono collegate metodologie di intervento specifiche. Per l'introduzione di tali indicatori è utile fare riferimento ad una scomposizione del **tempo carico** in diverse frazioni:

- *tempo utilizzato equivalente*: parte equivalente del tempo carico per il quale l'unità produttiva è stata utilizzata al massimo delle sue potenzialità;

L'unità produttiva in condizioni reali è soggetta ad altre perdite di tempo a causa di macro-fermate indesiderate (ad esempio per un guasto), si ottiene così il:

- *tempo operativo*: tempo per il quale l'unità produttiva ha effettivamente lavorato ovvero il tempo carico al netto di eventuali macro-fermate.

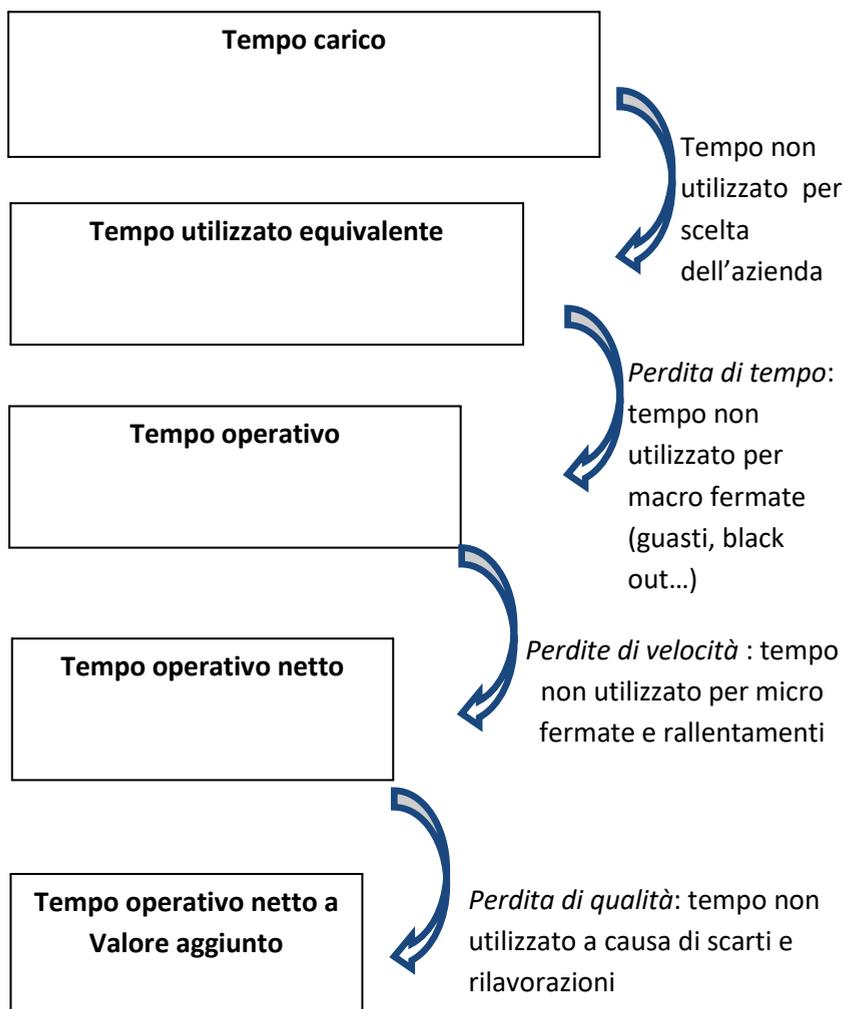
Durante il tempo operativo l'unità produttiva in condizioni reali è soggetta anche a perdite di velocità dovute a rallentamenti e micro-fermate indesiderate (ad esempio funzionamento a velocità ridotta, inceppamento del macchinario risolto nel giro di brevissimo tempo, ridotta velocità di alimentazione, ecc.), si ottiene così il:

- *tempo operativo netto*: tempo operativo al netto del tempo perso a causa di micro-fermate rallentamenti. Corrisponde ad un tempo equivalente nel quale l'unità produttiva lavora rispettando sempre il tempo ciclo ideale.

L'unità produttiva in condizioni reali è soggetta anche a perdite di qualità dovute al fatto di spendere del tempo per processare copri tunnel che viene successivamente scartato o a rilavorare copri tunnel già precedentemente lavorato ma che non ha superato i controlli di qualità e, quindi, sebbene abbia lavorato, non viene incrementato il volume di produzione utile. Considerando anche queste perdite si ottiene il:

- *tempo a valore aggiunto*: è la quota del tempo operativo netto a valore aggiunto, ottenuta sottraendo il tempo perso a processare copri tunnel scartata o a rilavorare copri tunnel processato precedentemente in maniera non corretta.

Quindi la valutazione dell'OEE attraverso l'analisi dei tempi equivalenti può essere schermata come nella figura seguente:



---

L'OEE può dunque scomporsi nel prodotto di tre fattori :

- *la disponibilità (D)* dei macchinari : Valuta la quota percentuale del tempo equivalente di utilizzo ( parte del tempo programmato per la produzione che l'azienda sceglie di utilizzare) per il quale l'unità produttiva riesce realmente a funzionare considerando la presenza di macro-fermate non desiderate( guasti, assenza di materiale,...). Permette di valutare l'incidenza delle per-dite di tempo;

$$D(\%) = \frac{\text{tempo operativo (h/gg)}}{\text{tempo equivalente d'utilizzo(h/gg)}} \times 100$$

- *l'efficienza delle prestazioni (EP)*: Permette di valutare l'incidenza delle perdite di velocità; Valuta la quota percentuale equivalente del tempo operativo che l'unità produttiva riesce a sfruttare con una velocità di produzione ideale, tenendo quindi conto delle perdite di efficienza dovute a micro-fermate e rallentamenti indesiderabili.

$$EP (\%) = \frac{\text{tempo operativo netto (h/gg)}}{\text{tempo operativo(h/gg)}} \times 100$$

- *il tasso di qualità(Q)*: permette di valutare l'incidenza delle perdite di qualità; Valuta la quota percentuale equivalente del tempo operativo netto per il quale l'unità produttiva riesce a realizzare correttamente il processo tenendo quindi conto di perdite di efficienza dovute alla realizzazione di lavorazioni di qualità non adeguata ( scarti e rilevazioni).

$$Q(\%) = \frac{\text{tempo operativo netto a valore aggiunto(h/gg)}}{\text{tempo operativo netto(h/gg)}} \times 100$$

La definizione classica di OEE è quindi:

---

$$OEE = D * EP * Q$$

➤ **Foglio raccolta dati (check sheet)**

I fogli di raccolta dati sono uno strumento molto utilizzato nel controllo statistico dei processi di produzione industriale. Lo scopo finale di questo strumento è duplice: semplificare la raccolta delle informazioni e dare la possibilità di aggregare i dati automaticamente e renderli disponibili per elaborazioni successive. Il foglio raccolta dati è un modulo adeguatamente progettato sul quale sono riportati appositi spazi che consentono una raccolta dei dati semplice e sintetica.

Per esempio, una fermata prolungata deve essere segnalata e registrata dall'operatore che indica la durata e il motivo del fermo. L'importanza della rilevazione delle macro-fermate è dovuta al fatto che esse rappresentano una perdita di tempo per l'unità produttiva determinando, ogni volta che si manifestano, una perdita di capacità produttiva. Esse sono, quindi, una delle cause per cui la capacità produttiva reale di un'unità produttiva è inferiore alla capacità produttiva ideale e devono essere controllate e ridotte nel tempo.

I dati raccolti preferibilmente su scheda cartacea vanno archiviati su base informatica (data base) in modo da renderne più agevole la rilettura e la organizzazione.

I dati del foglio raccolta dati della figura seguente ci serviranno per ijoioj

giorno	orario di apertura programmato		orario di chiusura programmato		note
15/06/2018	8h		16h45		
operatore	ora inizio turno		ora fine turno		note
Rossi	8		16:45		
Verdi	8		16:45		
Gialli	8		16:45		
<b>Tipo</b>	totale pezzi		scarti (pezzi)		
copri tunnel	624 (312 kit)		8		
<b>Fermate registrate</b>					
tipo	orario inizio		orario fine		note
guasto xxxxxxxx	10:15		10:50		intervento manutentore e ripristino funzionalità

*Figura foglio Raccolta dati*

### ➤ Calcolo OEE

Considerando un fattore di utilizzo giornaliero pari al 98% cioè considerando che l'azienda abbia realmente utilizzato soltanto il 98% del

---

tempo carico che aveva a disposizione, è quindi possibile calcolare il tempo utilizzato equivalente come parte del tempo carico (8h) per il quale l'unità produttiva è stata utilizzata al massimo delle sue potenzialità.

Quindi :

$$\textit{tempo utilizzato} = 98\% * 8 = 7,84 \textit{ h}$$

Per il calcolo del tempo operativo è necessario cumulare le macrofermate registrate nel foglio raccolta dati. il tempo di fermo per il guasto è pari a 35 minuti **ovvero 0,58 h**. Il tempo operativo è pari a 7,26 h ovvero alla differenza fra il tempo utilizzato equivalente e le macrofermate registrate

$$\textit{tempo operativo} = 7,84 - 0,58 = 7,26 \textit{ h}$$

Per il calcolo del tempo operativo netto è necessario considerare i volumi processati dall'unità produttiva moltiplicati per il loro tempo ciclo ideale. I volumi processati devono includere anche gli eventuali scarti e rilavorazioni in quanto è necessario considerare il tempo complessivamente speso dall'unità produttiva per i processamenti .

$$\textit{tempo operativo netto} = Vp * Tci$$

è necessario determinare un tempo ciclo ideale, vale a dire il tempo minimo necessario per processare un kit di copri tunnel che si manifesta esclusivamente in condizioni di funzionamento ideali. La migliore stima di questo parametro può essere ottenuta direttamente sul campo. Sempre utilizzando i dati del foglio raccolta dati e con **Tci = 80sec**,

quindi:

$$\textit{tempo operativo netto} = (316 \textit{ kit} + 2 \textit{ kit}) * 80 \textit{ sec} = 7,02 \textit{ h}$$

Per il calcolo del tempo a valore aggiunto è necessario considerare le perdite di qualità. . Le perdite di qualità sono valutate come il prodotto tra le unità scartate dall'unità produttiva ed il tempo ciclo ideale corrispondente.

$$\textit{perdita di qualità} = 2 * 80 \text{ sec} = 0,04h$$

Il tempo a valore aggiunto è quindi pari alla differenza fra il tempo operativo netto e le perdite di qualità:

$$\textit{tempo a valore aggiunto} = 7,02 - 0,04 = 6,98$$

Riassumendo:

Venerdì	Tempo utilizzato (h)	Macro-fermate (h)	Tempo operativo (h)	Tempo operativo netto (h)	Perdite di qualità (h)	Tempo a valore aggiunto (h)
15-06-2018	7,86	0,58	7,26	7,02	0,04	6,98

È ora quindi possibile calcolare i tre termini che compongono l'OEE: **D** la disponibilità dei macchinari, **EP** l'Efficienza delle prestazioni e **Q** il Tasso di qualità.

Gli indicatori sono calcolati come nel seguito riportato:

$$D = \frac{\textit{tempo operativo}}{\textit{tempo equivalente di utilizzo}} = \frac{7,26}{7,86} = 0,923$$

Quindi la Disponibilità è il 92,3%

$$EF = \frac{\textit{tempo operativo netto}}{\textit{tempo operativo}} = \frac{7,02}{7,26} = 0,966$$

Quindi l'Efficienza delle prestazioni è il 96,6%

$$Q = \frac{\text{tempo a valore aggiunto}}{\text{tempo operativo netto}} = \frac{6,98}{7,02} = 0,992$$

Quindi il tasso di Qualità è il 99,2% .

Infine ,  $l'OEE = D * EF * Q = 92,3\% * 96,6\% * 99,2\% = 88\%$

	Tempo utilizzato (h)	Macro- fermate (h)	Tempo operativo (h)	Tempo operativo netto (h)	Tempo Perdite di qualità (h)	Tempo a valore aggiunto (h)	D	EP	Q	OEE
Venerdi										
15-06-2018	7,86	0,58	7,26	7,02	0,04	6,98	92,3 %	96,6 %	99,2%	88%

## 2.2. WIP/ scarti

Il WIP (Work In Process) indica il numero di pezzi che sono in corso di lavorazione (sospesi per diversi motivi). E' utilizzato per valutare le prestazioni del sistema: a parità di lotti prodotti, si preferisce la soluzione che corrisponde al più basso livello di WIP; l'azienda in questo modo può ridurre i costi dovuti all'immobilizzazione delle giacenze di materie prime e di semilavorati.

Gli scarti di produzione possono essere determinati da diversi fattori, ad esempio materiali errati, tolleranze non corrette, etc. E' fondamentale monitorare gli scarti per analizzare i costi e capirne la provenienza. Quindi viene necessario rilevare, giornalmente, le quantità di paratie scartate durante la realizzazione del processo produttivo. Tipicamente gli scarti avvengono in momenti ben definiti del processo, in corrispondenza delle unità produttive dove sono previsti i controlli qualità nel processo, vale a

---

dire durante l'operazione di poka yoke ( dopo aver eseguito l'incollaggio e la pressatura della moquette sul corpo stampato) e di collaudo finale.

### *2.3. Servizio ( Lead time e ritardi)*

Il Lead time (o "tempo di attraversamento") è l'intervallo di tempo necessario per soddisfare la richiesta di un cliente. Quanto più questo tempo è basso tanto più l'azienda è veloce e flessibile. Questo KPI insieme al monitoraggio dei ritardi permette, se sostenuto da un corretto sistema di pianificazione della produzione, di valutare eventuali ritardi e ripianificare la produzione degli ordini.

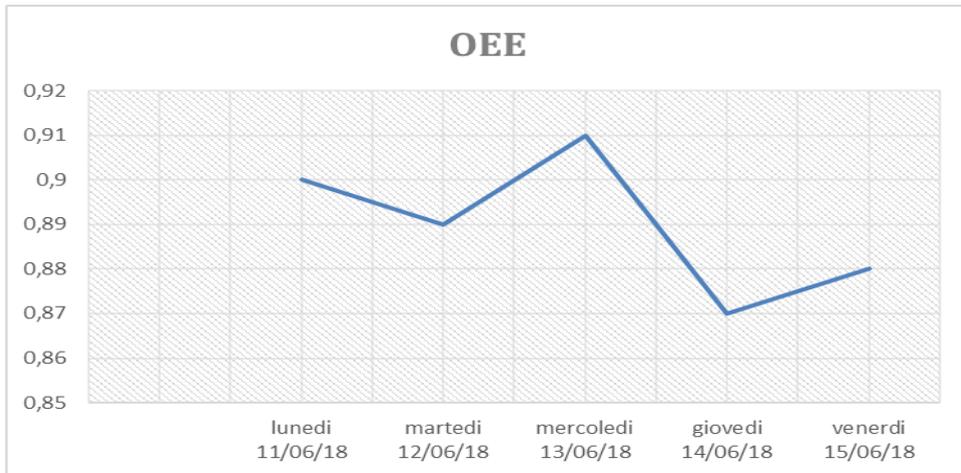
## **II. Analisi dell'impianto di produzione: le potenzialità delle stazioni**

### **1. Guida all'analisi e al miglioramento**

#### *1.1. Analisi degli indicatori*

La capacità dell'azienda di ottenere il massimo risultato dei macchinari è misurato dall'indicatore OEE. L'OEE si impone quale indicatore principale per misurare oggettivamente l'efficienza degli impianti ed identificare ogni possibile spreco di capacità produttiva. Consente di comprendere la natura delle cause di perdita di efficienza e quindi di individuare gli interventi più opportuni per il miglioramento e quindi per l'incremento dell'efficienza d'impianto.

L'analisi del comportamento dell'OEE nell'arco di una settimana attraverso una Run chart come quella riportata nella figura evidenzia come nella settimana analizzata, è stato raggiunto un punto di massimo dell'OEE il mercoledì, giornata in corrispondenza della quale si è riusciti a sfruttare meglio la capacità produttiva del reparto produttivo del copri tunnel;



*Figura Andamento settimanale dell'OEE*

La scomposizione dell'OEE nei tre indici favorisce l'individuazione delle cause alla base delle perdite di efficienza. L'indicatore **D** evidenzia le perdite di tempo, l'indicatore **EP** le perdite di velocità e l'indicatore **Q** le perdite di qualità. Tali perdite possono essere causate da un malfunzionamento del macchinario oppure dal modo di gestire l'unità produttiva. Per una corretta ricerca delle cause utilizzeremmo il **diagramma causa effetto** successivamente.

Di seguito si elencano per ciascun indice dell'OEE possibili cause di perdita che un processo di analisi di tale indicatore potrebbe evidenziare e i possibili interventi di miglioramento che possono contribuire ad un suo incremento:

- ❖ Disponibilità: Perdite di tempo causate dal funzionamento del macchinario
  - Fermate dovute a guasti

#### **Interventi di miglioramento:**

- Riduzione del tempo medio della fermata;

- 
- Potenziamento ed addestramento delle squadre di manutenzione per interventi rapidi ed efficaci;
  - Miglioramento della manutenibilità dei macchinari per facilitare l'intervento degli operatori;
  
  - ❖ Efficienza delle prestazioni : Perdite di velocità causate dal funzionamento del macchinario

### **Interventi di miglioramento:**

- Interventi di manutenzione specifici per la riduzione delle micro-fermate;
- introduzione di forme di manutenzione autonoma (affidamento ai conduttori del macchinario di semplici interventi, come pulizia, ispezione e lubrificazione, utili a mantenere la macchina in buone condizione), responsabilizzazione ed incentivazione della manodopera diretta.
- Le perdite dovute ad errori di impostazione dei parametri di processo e alla mancata ottimizzazione delle modalità di lavoro possono essere ridotti attraverso la formalizzazione delle procedure di lavoro (ad es. istruzione di lavoro a bordo macchina) e con un'adeguata formazione della manodopera;
- La responsabilizzazione e l'incentivazione della manodopera diretta può favorire il contenimento delle perdite di velocità;
  
- ❖ perdita di qualità : Perdite di qualità causate dal funzionamento dei macchinari
- Avaria dei sistemi di controllo;
- Danneggiamento del prodotto per guasto (es. perdita di lubrificanti, infiltrazioni da protezioni deteriorate, rottura del prodotto, ...);

---

## **Interventi di miglioramento:**

- Agire sulla manutenzione per minimizzare i guasti;
- Utilizzo di strumenti propri della gestione della qualità (strumenti della qualità) per la ricerca, l'analisi e l'eliminazione delle cause di difettosità (condizioni di funzionamento dei macchinari, errori umani, qualità degli utensili, qualità dei materiali, avviamento e fermata della produzione);

### *1.2. Strumento di analisi e miglioramento*

#### **1.2.1. Foglio raccolta dati.**

Costituisce il supporto sul quale vengono riportati i dati necessari per effettuare delle azioni successive volte al monitoraggio, al controllo e al miglioramento di un processo. La sua stesura è funzione di obiettivi e finalità che possono essere molto diversi a seconda del contesto applicativo. In tale fase è necessario quindi avere ben chiaro il suo scopo in modo da determinare quale tipo di dato raccogliere ed il metodo più appropriato. È necessario tener presente anche di tutti gli aspetti tecnici relativi alla fase di raccolta. Capire quali dati raccogliere è una condizione necessaria ma non sempre sufficiente per la raccolta stessa, infatti spesso non è possibile raccogliere i dati definiti a causa di strumentazioni mancanti o personale non addestrato. Il foglio raccolta dati può assumere l'aspetto di un questionario tramite il quale una persona adeguatamente scelta fornisce per iscritto informazioni sul problema da analizzare; va completato con le informazioni che riguardano la raccolta stessa (data, reparto, prodotto, procedura, strumenti impiegati, ecc.).

---

### 1.2.2. Diagramma causa effetti.

Il diagramma Causa – Effetto viene utilizzato per mostrare e riflettere sulle relazioni tra un dato effetto e le sue potenziali cause. Le molteplici cause potenziali vengono organizzate in categorie e sottocategorie così che la figura assomiglia ad una ipotetica lisca di pesce, è una rappresentazione ordinata e completa di tutte le cause che potrebbero determinare un certo problema.

Passi per la costruzione del diagramma Causa – Effetto:

- identificare e definire chiaramente il problema o l'effetto per il quale vanno ricercate le cause. Riportare il problema o l'effetto a destra, alla testa del diagramma;
- identificare le categorie di cause per lo specifico problema/effetto (macchine, materiali, manodopera, metodi);
- individuare tutte le possibili cause all'origine del problema o effetto e riportarle all'interno della categoria di competenza;
- proseguire l'analisi ricercando sempre cause più specifiche (cause, cause delle cause, ecc.);
- esaminare criticamente il diagramma per individuare le cause principali o più probabili.

L'esempio riportato in Figura tende ad analizzare le possibili cause di riduzione dell'efficienza delle prestazioni, che risulta quindi l'effetto ultimo da analizzare. Le possibili cause sono state raggruppate nelle quattro macro-famiglie sopra descritte:

- ✓ **macchinari**: riduzione di velocità della pressa che a sua volta può essere imputata, ad esempio, ad una diversa velocità con la fase di incollaggio oppure ad un guasto tecnico di alcuni nastri che comportano un non completo sfruttamento delle vie a disposizione;

- ✓ **metodo**: attesa dei materiali che a sua volta può essere imputata ad un'errata pianificazione della produzione, oppure a dei ritardi legati al transitorio che segue l'inizio della lavorazione e ne precede la fine;
- ✓ **manodopera**: distanza di inserimento tra un operatore e l'altro, che a sua volta può essere imputata ad una lentezza dell'operatore, dovuta anche ad un naturale decadimento della prestazione, oppure ad una diversa velocità tra l'introduttore ed la macchina che lavora ad una velocità superiore;
- ✓ **materiali**: tutto il materiale usato

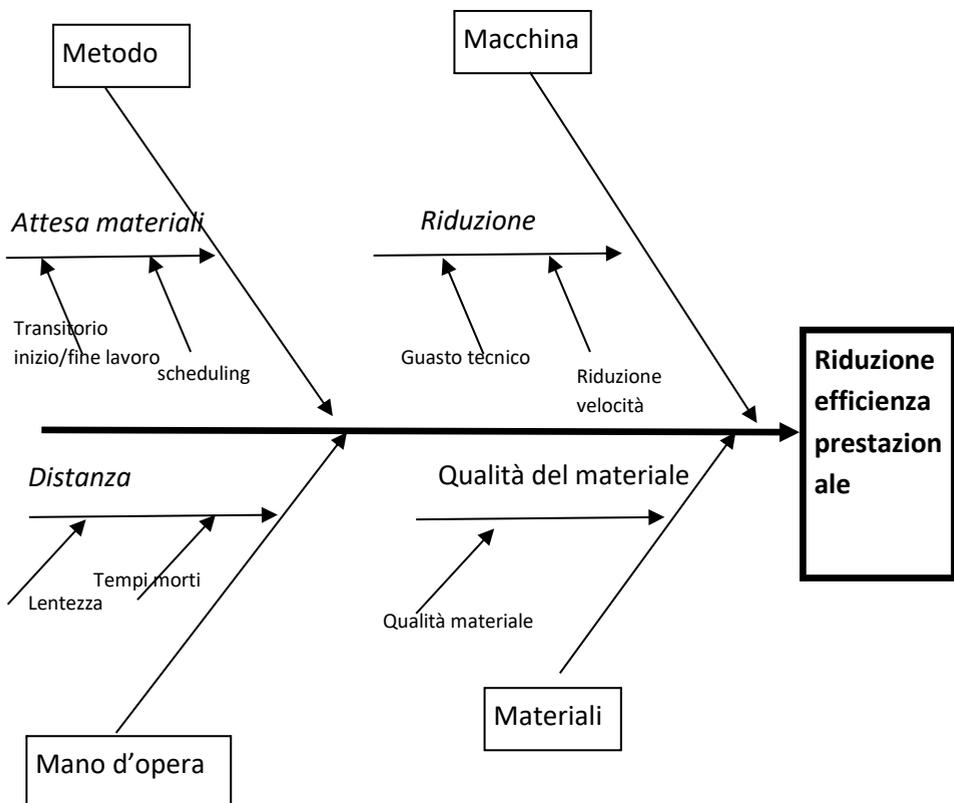


Figura diagramma causa effetto

---

### 1.2.3. La manutenzione

La manutenzione è l'insieme di interventi su macchinari, servizi, strumenti, attrezzature e quant'altro viene utilizzato all'interno di un impianto. L'obiettivo è di garantire l'esistenza, la conservazione e il continuo funzionamento degli impianti, di incrementare la manutenibilità delle apparecchiature fin dalle fasi di progetto di nuovi sistemi, o in fase di revisione/riorganizzazione delle stesse, di minimizzarne i costi di riparazione, necessari a garantire il ripristino delle funzionalità richieste al seguito del verificarsi di un guasto.

Per quanto riguarda il mantenimento dei macchinari nelle condizioni di funzionamento, le politiche di manutenzione più comunemente impiegate sono la manutenzione a guasto e la manutenzione preventiva.

**Manutenzione a guasto:** viene effettuata a seguito del manifestarsi di un guasto con lo scopo di ripristinare il funzionamento del macchinario intervenendo solo quando è realmente necessario

Vantaggi:

- ❖ la minimizzazione del numero di interventi e in alcuni casi del tempo totale impiegato per fare manutenzione;
- ❖ il completo sfruttamento dei componenti usurabili.

**Manutenzione preventiva:** viene effettuata prima che un potenziale guasto si manifesti allo scopo di prevenirne il verificarsi attraverso la programmazione degli interventi. La programmazione di attività di manutenzione preventiva richiede la definizione di un opportuno piano di manutenzione in cui oltre agli aspetti tecnici dell'intervento vengono definiti le risorse necessarie, la durata, gli eventuali ricambi e gli strumenti da utilizzare. Un esempio classico ed assai comune di manutenzione preventiva è la manutenzione periodica, effettuata cioè a periodi di tempo prefissati determinati in base alle durate medie attese di funzionamento dei diversi componenti del macchinario

---

Vantaggi:

- minimizzazione dei tempi di organizzazione e conduzione dell'intervento attraverso la conduzione della maggior parte delle attività a macchina funzionante (diagnosi, attese di natura amministrativa e logistica, preparazione tecnica dell'intervento, ecc.) e comunque a fronte di una attenta programmazione degli interventi;
- possibilità di effettuare gli interventi al di fuori del tempo effettivo di produzione (ad esempio in ore di straordinario a fine turno o in giorni in cui l'impianto è fermo, quali i giorni festivi) non andando così ad incidere sull'efficienza dei macchinari.

## 2. Controllo e miglioramento continuo: Metodo Kaizen

Sulla base di quanto emerge dall'analisi degli indicatori, l'azienda potrà individuare una serie di interventi di miglioramento delle sue performance. L'azienda dovrebbe organizzare l'implementazione degli interventi partendo da quelli per i quali si attende un migliore rapporto tra i benefici che possono essere ottenuti (valutabili a partire dalla stima del miglioramento degli indicatori) e i costi di implementazione dell'intervento.

L'organizzazione non dovrebbe mai smettere di migliorarsi e dovrebbe, quindi, mantenere attivo nel tempo il sistema di monitoraggio e controllo delle prestazioni continuando ad iterare le fasi di **misura**, **analisi**, **miglioramento** e **controllo** delle prestazioni. Questo tipo di approccio dovrebbe essere diffuso progressivamente a tutti i livelli dell'azienda fino ad ottenere un vero e proprio cambiamento culturale anche degli operatori e dei manutentori che, vivendo a contatto con le operazioni di produzione, sono in grado di fornire preziose indicazioni per il miglioramento delle prestazioni dell'impianto.

Le imprese che si concentrano sul miglioramento continuo diventano più competitive nel tempo e possono mantenere i vantaggi acquisiti nel loro settore, ma solo se gli sforzi di miglioramento sono fatti



Ciascuna nuova **Pratica Standard** diventa la base per un altro ciclo di miglioramento.

correttamente. Monitoraggio, misurazioni, analisi e software gestionali aziendali aiutano a identificare l'efficacia degli sforzi compiuti. Il Kaizen non è l'unico metodo di miglioramento aziendale, ma è uno dei più adatti alle piccole e medie imprese come leva S.p.A. .

Il processo di miglioramento continuo Kaizen è un processo strutturato per essere sempre teso all'efficientamento dei processi di produzione, manutenzione di macchinari e attrezzature ed eliminazione di qualsiasi spreco nelle aziende. Il Kaizen presuppone che ad ogni giorno corrisponde una ricerca della perfezione che non deve aver mai fine. Non richiede grandi investimenti ma richiede l'ottimizzazione delle risorse disponibili impiegate per eliminare le inefficienze.

---

## CONCLUSIONE

In questa tesi , è stato affrontato lo studio del processo produttivo del copri tunnel secondo la logica della Leva S.p.A. Si è cercato di approfondire l'evoluzione organizzativa dell'azienda ospitante per quanto riguarda il reparto Paratia. Il copri Tunnel che prima veniva prodotto manualmente ha subito un processo di continuo miglioramento fino ad oggi dove viene prodotto con l'uso delle macchine ( pressa, Robot, macchina per incollaggio).

L'obiettivo di trovare il giusto bilanciamento della linea è stato raggiunto con l'ausilio di metodi matematici come il metodo della saturazione parziale del tempo ciclo e del metodo del massimo grado di saturazione imposto. Da questo studio si è notato il trade-off che esiste tra dimensionamento della linea e bilanciamento della linea. Questo è intuibile dal fatto che più stazioni di lavoro si hanno a disposizione e più ne verranno utilizzate dato che questo comporta un minor carico di lavoro per le stazioni e quindi una conseguente riduzione del carico massimo.

L'analisi dell'indicatore OEE attraverso un Run chart mostra una condizione di buona salute dell'organizzazione ma che necessita una logica di miglioramento continuo come consigliato dalla teoria di Kaizen. Le imprese che si concentrano sul miglioramento continuo diventano più competitive nel tempo e possono mantenere i vantaggi acquisiti nel loro settore.

---

## BIBLIOGRAFIA

- A., p. (2009). *impianti industriali*. società editrice Esculapio s.r.l.
- Alberto Portioli Staudacher, A. P. (2003). - *Progettazione degli impianti*. Milano: Hoepli.
- F., D. C. (2005). *Indicatori di performance aziendali: come definire gli obiettivi e misurarli*. Milano: FrancoAngeli s.r.l.
- Garza-Reyes J. A., E. S.-M. (2010). "Overall equipment. *International Journal of*, 48 – 62.
- Renato Wegner, F. C. (1997). *Studio di Fattibilità, layout e simulazione*. Milano: CUSL.
- Salveson, M. (1955). The assembly line balancing problem. *The Journal of Industrial Engineering*, 6, 18–25.
- Wallace J. Hopp, M. L. (2008). *Factory physics*. Long grove: Waveland Press, Inc.
- Yano, C. R. (1991). Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options. *Management Science* 37, 572-586.

---

## RINGRAZIAMENTI

A conclusione di questo lavoro di tesi, è doveroso porre i miei più sentiti ringraziamenti alle persone che ho avuto modo di conoscere in questo importante periodo della mia vita e che mi hanno aiutato a crescere sia dal punto di vista professionale che sociale. E' difficile in poche righe ricordare tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito a rendere migliore questo periodo.

I miei ringraziamenti vanno all'Iddio onnipotente, mio Gesù per la forza, il coraggio e la salute che mi ha dato. Mi ha fatto conoscere delle persone davvero speciali che in un modo o un'altro hanno influenzato il mio modo di pensare e vedere la vita.

Un ringraziamento particolare va ai miei professori e colleghi, che con pazienza e spirito critico mi hanno insegnato, sostenuto, consigliato e aiutato durante tutta la mia vita universitaria. Gli sono grato per la stima e l'amicizia che mi hanno dimostrato e l'entusiasmo per la ricerca che mi hanno trasmesso.

Ringrazio l'Ing. Marco STOPPA , production manager della leva S.p.A , per la disponibilità e l'aiuto fornitomi durante il mio periodo di stage presso Leva S.p.a.

Non possono mancare da questo elenco di ringraziamenti la scuola Enaip Rivoli, specialmente la Dott.sa Paola PONT per aver creduto in me e indirizzarmi verso l'azienda giusta per svolgere il Tirocinio e scrivere la tesi in tutta tranquillità.

Grazie per il vostro amore.

Delice

