

POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA



Analisi AS-IS e TO-BE di una linea di assemblaggio semiautomatica: il caso Sogefi

Relatori:

Prof. Ing. Maurizio Schenone

Prof. Ing. Agostino Villa

Laureando:

Fabio Armando de Francesco

ANNO ACCADEMICO 2019–2020

INDICE

INTRODUZIONE	3
1 SOGEFI GROUP	4
1.1 Storia.....	4
1.2 Situazione attuale.....	5
1.3 Filtrazione dell'olio lubrificante.....	6
1.3.1 <i>Efficienza di filtrazione</i>	9
1.3.2 <i>Dust holding capacity</i>	9
1.3.3 <i>Filtro olio Sogefi</i>	10
1.4 Filtrazione del gasolio.....	11
1.5 Filtro gasolio Sogefi	12
2 LEAN PRODUCTION.....	14
2.1 Eliminazione dei Muda.....	15
2.2 I cinque principi della Lean Production.....	17
2.2.1 <i>Just in time</i>	20
2.2.2 <i>Kanban</i>	20
2.2.3 <i>Jidoka e poka-yoke</i>	21
2.3 Single Minute Exchange of Die (SMED)	21
2.4 Total Productive Maintenance (TPM)	24
3 KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI)	26
3.1 La Funzione Produzione	26
3.2 Le Funzioni Qualità e Manutenzione	28
3.3 KPI diretti di Produzione	29
3.3.1 <i>OEE</i>	30
3.3.2 <i>Efficienza di manodopera</i>	32
3.4 KPI indiretti di produzione.....	33
3.4.1 <i>PPM</i>	34
3.4.2 <i>MTBF</i>	34

4	CLASSIFICAZIONE DELLE LINEE DI ASSEMBLAGGIO	40
4.1	Classificazione in funzione del ritmo di produzione	40
4.2	Classificazione in funzione della varietà di prodotto	41
4.3	Classificazione in funzione del grado di automazione	43
4.4	Classificazione in funzione della tipologia di layout.....	44
5	DETERMINAZIONE DELLA LINEA MAGGIORMENTE CRITICA.....	47
5.1	Dati del problema	48
5.2	Metodo utilizzato.....	48
6	ANALISI 4M E DEFINIZIONE DI UN PIANO D’AZIONE.....	53
6.1	Il problem solving.....	53
6.2	Diagramma di Ishikawa	57
6.3	Plan Do Check Act (PDCA)	60
7	PROPOSTE DI MIGLIORAMENTO.....	66
7.1	Errore di posizionamento dei coperchi	66
7.2	Errore di mancata Traceability	67
7.3	Bilanciamento della linea di assemblaggio	69
7.3.1	<i>Metodo di Kottas Lau.....</i>	<i>73</i>
7.3.2	<i>La misurazione dei tempi</i>	<i>78</i>
7.3.3	<i>Situazione iniziale della linea L450.....</i>	<i>79</i>
7.3.4	<i>Azioni correttive sulla linea L450.....</i>	<i>83</i>
8	MIGLIORAMENTO CONTINUO	91
8.1	Layout a U.....	92
8.2	Installazione di una macchina scatolatrice.....	95
8.3	Soluzione tampone	96
	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	98

INTRODUZIONE

Il presente lavoro di tesi, frutto di un periodo di stage presso lo stabilimento produttivo *Sogefi Filtration* di Sant'Antonino di Susa (TO), tratta l'incremento della produttività di una linea di assemblaggio semiautomatica.

Per fare ciò, è innanzitutto necessario fornire una panoramica generale dello stabilimento per comprendere quali prodotti vengono realizzati dal gruppo *Sogefi Filtration*. Successivamente, verranno definiti alcuni degli strumenti della *Lean Production* necessari per affrontare al meglio i problemi di gestione industriale.

Il punto di partenza del caso di studio invece, consiste nell'individuare la linea di assemblaggio maggiormente critica all'interno del sito produttivo. È bene precisare che, intervenendo sulla linea più critica, è possibile innalzare in modo rapido gli indici di prestazione dell'intero stabilimento. Tali indici prestazionali prendono il nome di Key Performance Indicators (KPI) e devono essere monitorati costantemente dal management per comprendere immediatamente quali azioni correttive si devono prendere in considerazione per affrontare le criticità riscontrate.

In questo lavoro di tesi si parlerà di linea maggiormente critica proprio perché le inefficienze legate a quest'ultima, hanno sicuramente un impatto maggiore nel calcolo della media degli indici di prestazione delle diverse linee di assemblaggio.

Di conseguenza le anomalie della linea produttiva verranno identificate tramite *analisi 4M* in modo tale da poter compilare un piano d'azione per ricavare più soluzioni efficienti in tempi rapidi.

Infine, facendo un confronto tra la condizione iniziale e quella finale, verrà valutato il miglioramento che si è riusciti a fornire all'azienda in termini di risparmio di costi.

1 SOGEFI GROUP

Il Gruppo *Sogefi* è leader mondiale nella componentistica originale per l'industria automobilistica, con oltre 35 anni d'esperienza e successi. *Sogefi* progetta, sviluppa e produce sistemi di filtrazione e componenti per sospensioni oltre a impianti di gestione aria e raffreddamento motori.

Grazie al grande impegno nella ricerca, Il Gruppo *Sogefi* migliora continuamente i suoi componenti con sviluppi tecnologici in tutti i settori di attività, ottimizzandone le prestazioni in termini di ciclo di vita, efficacia, dimensioni, peso e compatibilità ambientale.

Nel corso degli anni la crescita di *Sogefi* ha seguito un progetto preciso con l'obiettivo di diventare leader a livello mondiale nel settore della componentistica automobilistica.

Sogefi ha guadagnato posizioni strategiche attraverso nuove acquisizioni e attraverso una crescita organica sia nei mercati già affermati, sia in quelli emergenti. Ha dimostrato una forte capacità di integrare culture, tecnologie e mercati diversi.

Sogefi S.p.A. è quotata alla Borsa Valori di Milano nel segmento STAR ed è partner dei principali produttori mondiali di automobili, veicoli commerciali e apparecchiature di movimento terra. Oggi il suo perimetro d'azione copre 23 paesi in 4 continenti, con 42 siti produttivi.

1.1 Storia

Sogefi S.p.A. viene costituita a Mantova nel 1980, con l'obiettivo di diventare una forza trainante nel settore della componentistica industriale. CIR diventa il suo azionista di controllo.

Dal **1981** al **1986**, nell'ambito della strategia di espansione e diversificazione nel settore automobilistico, Sogefi acquista le società Fram S.p.A. e Fiaam S.p.A. (specializzate nella produzione di un'ampia gamma di filtri automobilistici) e *Rejna S.p.A.* (produttore italiano di componenti per sospensioni per il settore dei trasporti).

Nel **1987**, la presenza della società nel settore dei componenti per sospensioni si consolida ulteriormente con l'acquisizione di due società italiane (Mollificio Bresciano e Sidergarda) e di una società francese (Ateliers Métallurgiques de Saint Urbain S.A.).

Nel **1988** invece, Sogefi continua ad ampliare a livello internazionale i suoi interessi legati al settore della filtrazione con l'acquisto della società inglese Coopers Filters Ltd.

Tale processo di crescita, continua dal 1991 fino al 2017, anche in paesi extraeuropei come ad esempio: Brasile, Argentina, Stati Uniti, India e Marocco.

1.2 Situazione attuale

Attualmente la società è presente in 23 paesi (42 stabilimenti produttivi) ed è strutturata in 3 business units: *Air & Cooling*, *Filtration* e *Suspensions*.



*Figura 1.1: Stati in cui sono presenti i siti produttivi Sogefi
(aggiornato a Gennaio 2020)*

Sogefi Group opera nel mercato internazionale attraverso tre canali di vendita:

- OEM: Original Equipment Manufacturing
- OES: Original Equipment Spare-parts

- IAM: Independent Aftermarket Manufacturing

Lo stabilimento di Sant'Antonino di Susa (TO) produce filtri olio e gasolio per il settore automotive e rientra dunque nella business unit chiamata *Filtration*.

1.3 Filtrazione dell'olio lubrificante

Il classico motore a combustione interna, necessita di una corretta lubrificazione per garantire elevate prestazioni.

A tal proposito, i circuiti di lubrificazione devono assicurare diverse funzioni fondamentali:

- Mantenere separate le parti mobili
- Ridurre l'attrito
- Trasferire calore
- Trasportare particelle contaminanti e detriti

È necessario un sistema di filtrazione dell'olio che faccia da protezione per il circuito di lubrificazione. Infatti, le prestazioni e le durate dei motori possono essere fortemente compromesse nel momento in cui vi è presenza di *hard particles* tra le parti mobili.

A seguito dello sviluppo tecnologico dei motori a combustione interna, le distanze tra gli organi mobili sono diventate sempre più piccole. Di conseguenza, le particelle che causano usura risultano essere dello stesso ordine di grandezza dei rivestimenti d'olio (oil film).

Component	Oil film (μm)
Piston rings / skirts	0,3 – 7
Bearing of connecting rod	0,5 – 20
Crankshaft bearing	0,8 – 50
Turbocharger bearing	0.5 -20
Piston pin / connecting rod	0.5 – 15
Gears	0.1 – 1.5

Tabella 1.1: Ordini di grandezza dell'Oil film al variare degli organi mobili considerati

I vari processi di usura avvengono nel momento in cui le particelle abrasive ricircolano all'interno del motore creando nuove particelle di dimensioni maggiori; che a loro volta daranno origine ad altre particelle abrasive. Questo fenomeno prende il nome di *snowball effect*.

Nella tabella sottostante si può notare che al variare della dimensione delle particelle, si definiscono varie tipologie e velocità di usura:

Particle	Wear type	Wear speed
Small particles : $0.5 \rightarrow 5 \mu\text{m}$ Big particle : $10 \rightarrow 40 \mu\text{m}$	Adhesion Abrasion	Slow Fast
Chips: $20 \mu\text{m} \rightarrow 1 \text{ mm}$ Curly chips : $10 \mu\text{m} \rightarrow 300 \mu\text{m}$	Scaling Abrasion	Very fast Very fast
Metallic spheres	Fatigue - cavitation	Very fast

Tabella 1.2: Tipologie di usura

Il processo di filtrazione può essere modellato in quattro step:

- Impaction (compressione)
- Inertia (inerzia)
- Interception (intercettazione)
- Diffusion (diffusione)

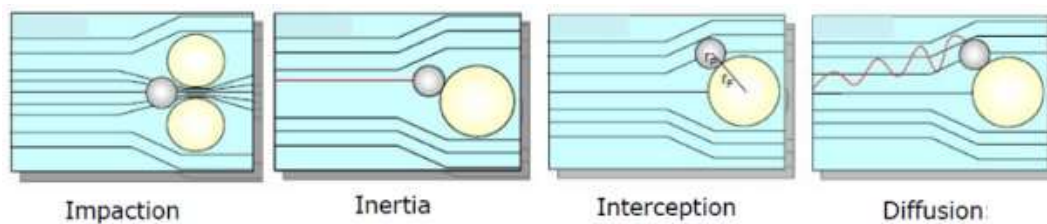


Figura 1.2: Processo di filtrazione

Nella fase di compressione, le particelle di grande dimensione, non hanno la possibilità di attraversare le fibre del filtro. Quindi risultano essere bloccate.

Successivamente, il passaggio di piccole particelle viene impedito a causa delle particelle più grandi che si erano depositate nella fase precedente.

Quindi, le piccole particelle vengono attratte dalle fibre e tendono a incollarsi a quest'ultime per mezzo di forze intermolecolari.

Infine, il processo continua a mano a mano che giungono nuove particelle; dando origine a un vero e proprio fenomeno di diffusione.

A tal proposito, per valutare il corretto funzionamento di un filtro olio, bisogna analizzare due curve caratteristiche:

- Efficienza di filtrazione
- Dust holding capacity

Prima di descriverne l'andamento però, è necessario fornire informazioni sul comportamento fisico degli oli lubrificanti. La Society of Automotive Engineers (SAE) e la International Organization for Standardization (ISO) hanno definito dei codici numerici per classificare gli oli lubrificanti al variare della loro viscosità cinematica. Tali codici possono essere costituiti da un solo numero ("olio unigrado") nel momento in cui si descrive la viscosità del liquido a una specifica temperatura; oppure da due numeri ("olio multigrado") nel momento in cui si vuole descrivere il valore di viscosità in condizioni di temperature rigide e in condizioni di temperature elevate.

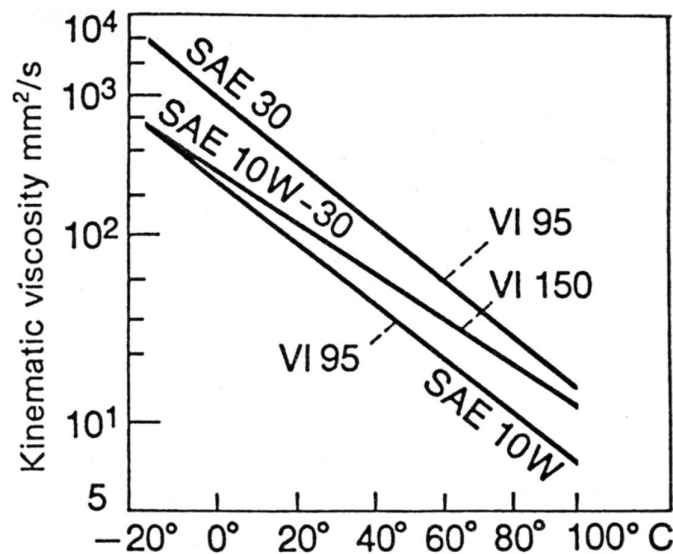


Figura 1.3: Andamento della viscosità cinematica all'aumentare della temperatura

Osservando il grafico, si osserva che la viscosità cinematica degli oli lubrificanti tende a diminuire con l'aumentare della temperatura.

1.3.1 Efficienza di filtrazione

Per quanto riguarda l'efficienza di filtrazione, si effettuano test su banchi prova seguendo la normativa ISO4548-12.

L'olio lubrificante deve avere una viscosità cinematica costante di 15 cSt (in modo tale da simulare temperature prossime ai 120°C). Inoltre secondo la normativa, la portata di olio che deve scorrere attraverso il filtro può essere fissata tra 7 e 40 l/min (a seconda delle esigenze di ogni specifico cliente). Il test prova inizia facendo fluire dell'olio lubrificante nuovo all'interno di un circuito chiuso (circuito multipass).

Successivamente, si inserisce nel circuito il contaminante: ISO Medium dust (polvere ricavata dal deserto dell'Arizona). Utilizzando dei contatori di particelle di tipo laser, è possibile misurare il numero di particelle che sono state filtrate rispetto alle particelle totali iniettate. Queste prove sperimentali vengono ripetute facendo variare la dimensione caratteristica delle particelle contaminanti. La curva caratteristica che viene ricavata sperimentalmente, ha il seguente andamento:

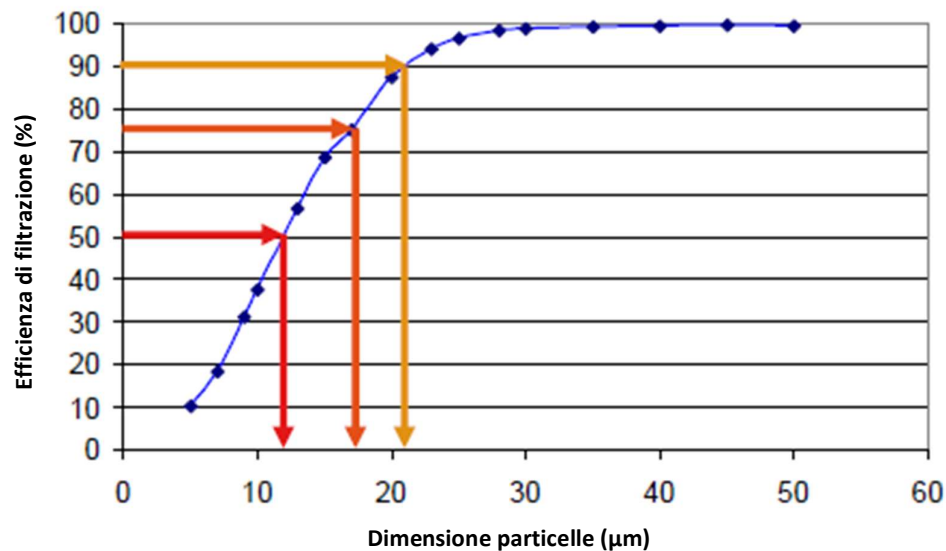


Figura 1.4: Efficienza di filtrazione

1.3.2 Dust holding capacity

Anche in questo caso si fa riferimento alla normativa ISO4548-12; di conseguenza le condizioni di prova rimangono invariate.

Lo scopo di questo test consiste nel misurare la caduta di pressione durante l'intero svolgimento della prova. Per effettuare ciò, è necessario misurare la quantità di polvere iniettata prima di raggiungere la massima caduta di pressione consentita da uno specifico cliente. I dati sperimentali Sogefi riportano caratteristiche con il seguente andamento:

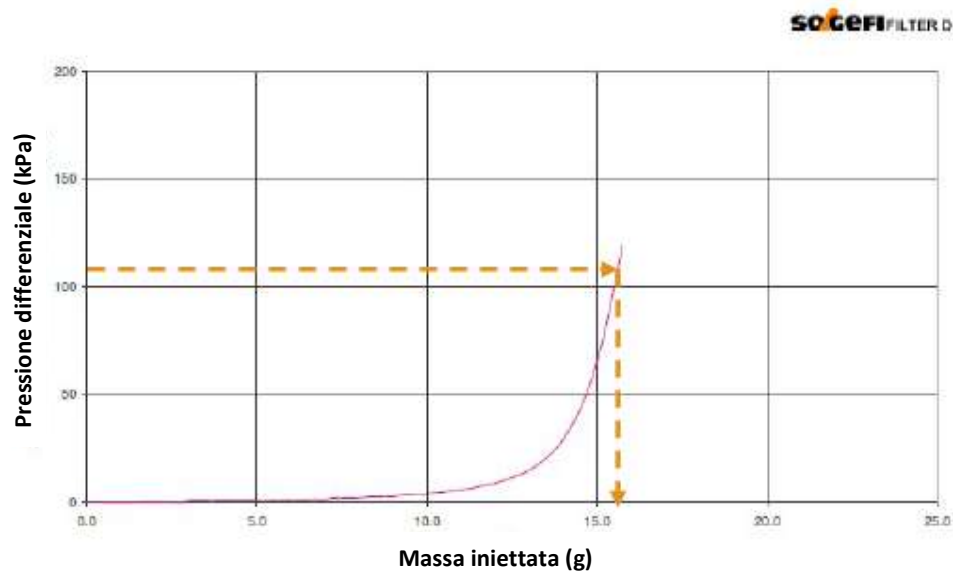


Figura 1.5: Dust holding capacity

1.3.3 Filtro olio Sogefi

Il filtro olio realizzato nello stabilimento di Sant'Antonino di Susa, può essere suddiviso in due grandi famiglie a seconda delle applicazioni e della tecnologia:



Figura 1.6: Filtro olio spin-on



Figura 1.7: Modulo ricaricabile

Il filtro di tipo *spin-on* rappresenta la prima tecnologia di filtrazione, ma nonostante ciò è tuttora in uso su una vasta gamma di veicoli. Il *modulo ricaricabile* invece, risulta essere molto più complesso e ecologico rispetto al suo predecessore poiché, una volta terminata la vita utile del prodotto, è sufficiente sostituire il solo elemento filtrante anziché l'intera struttura.

In ogni caso, il componente più importante nel sistema di filtrazione, è sicuramente l'elemento filtrante. Quest'ultimo viene realizzato facendo uso di apposite carte in fibra di cellulosa. Nel caso del filtro olio si utilizza un *pacco filtrante stellato* in cui la filtrazione avviene nella direzione radiale.



Figura 1.8: Pacco filtrante stellato

1.4 Filtrazione del gasolio

L'impianto di filtrazione del gasolio rappresenta un importante sistema di sicurezza per tutti gli autoveicoli che sfruttano un ciclo Diesel. In questo caso il filtro si trova a valle

del serbatoio poichè deve garantire una *filtrazione fine*. Infatti si utilizza un prefiltro collocato direttamente all'interno del serbatoio per assicurare una *filtrazione grossolana*.

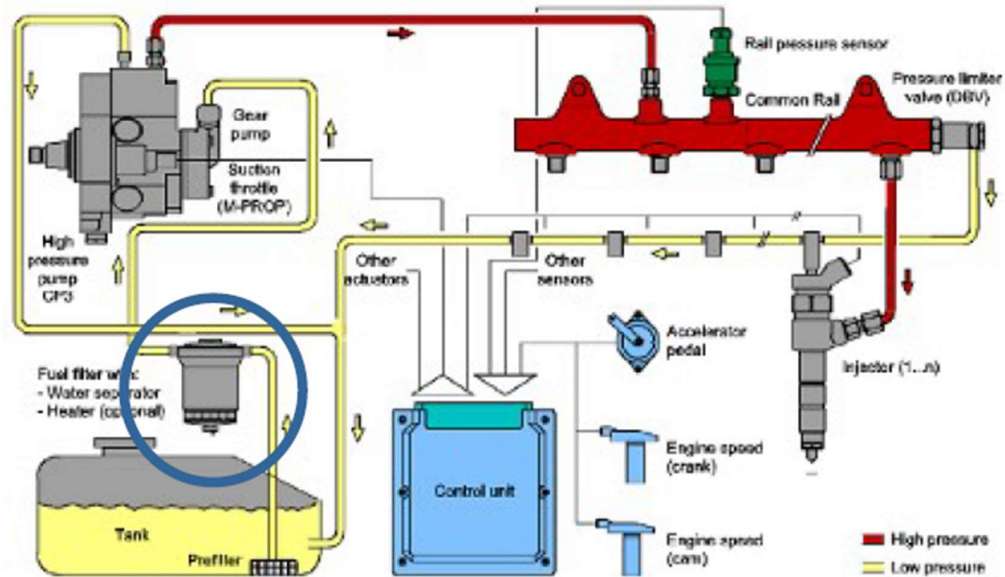


Figura 1.9: Collocamento del filtro gasolio in un classico sistema common rail

I contaminanti che devono essere filtrati sono: acqua, sedimenti di gasolio, particelle carboniose provenienti dall'ossidazione del gasolio e particelle metalliche.

Anche nel caso del filtro gasolio, è necessario ricavare le caratteristiche di *efficienza di filtrazione* e *dust holding capacity* (normativa ISO19438). Prendendo opportuni accorgimenti, tali caratteristiche si ricavano in modo del tutto analogo al caso precedente, con l'unica differenza sostanziale data dal fatto che il fluido preso in esame nei laboratori di Vire è il classico diesel B7.

1.5 Filtro gasolio Sogefi

Il filtro gasolio prodotto nello stabilimento di Sant'Antonino di Susa presenta un'unica tecnologia, ma può essere suddiviso in tre categorie di prodotto al variare del coperchio utilizzato:



Figura 1.10: Filtro gasolio Spin-on



Figura 1.11: Filtro gasolio FCS



Figura 1.12: Filtro gasolio ONE

Come è possibile osservare, tutte le categorie di prodotto presentano un tappo necessario per effettuare un istantaneo spurgo dell'acqua. Infatti, il filtro gasolio possiede al suo interno una camera di decantazione utilizzata per l'accumulo di acqua. L'elemento filtrante è un *pacco filtrante avvolto* che assicura il flusso del fluido nella sola direzione assiale.



Figura 1.13: Pacco filtrante avvolto

2 LEAN PRODUCTION

La *Lean Production* costituisce un insieme di principi e di metodi che, applicati in modo corretto, consentono di portare sostanziali miglioramenti nei processi operativi aziendali.

Tale concetto di produzione (detto anche *Lean Manufacturing*), nasce a seguito di una generalizzazione e divulgazione in occidente del sistema di produzione Toyota (TPS: Toyota Production System): un metodo di organizzazione della produzione basato su una filosofia diversa rispetto alla tradizionale *Mass Production*.

In un mercato in cui i fabbisogni dei clienti cambiano rapidamente, le tecnologie si sviluppano in maniera sempre più veloce, e nuovi prodotti concorrenziali appaiono sempre più continuamente sul mercato; il TPS supera i limiti del modello produttivo di Henry Ford (*Mass Production*) facendo delle aziende organismi dinamici, capaci di muoversi in maniera flessibile e relazionarsi con l'ambiente circostante.

I metodi di questa filosofia di produzione furono sviluppati a partire dal 1940 presso la Toyota per merito dell'ingegnere Taiichi Ohno. L'obiettivo fondamentale di queste metodologie consiste nell'incrementare la produttività delle fabbriche. Di conseguenza, alla base del TPS vi è l'idea di utilizzare le risorse disponibili nel modo più efficiente possibile puntando su un concetto all'apparenza semplice: l'eliminazione degli sprechi in un processo produttivo.

Per implementare i numerosi concetti della *Lean Production*, è innanzitutto necessaria una forte base di stabilità e standardizzazione. Affinché un'azienda riesca a costruire queste fondamenta dovrà innanzitutto definire delle operazioni standard, che siano eseguibili sempre nello stesso modo, così che siano ridotte le incertezze e vengano commessi meno errori. Gli standard definiti, comunque, possono essere modificati nel tempo, tramite delle attività di miglioramento continuo che coinvolgano tutta l'azienda.

A seguito di tutto ciò; con l'avanzare degli anni è risultato chiaro che il successo di Toyota fosse dovuto proprio al modello produttivo, più avanzato e innovativo rispetto a quello diffuso in Occidente. Per questa ragione diversi studiosi hanno iniziato ad analizzare il TPS, per capirne i punti di forza, i principi chiave e, soprattutto, se fosse possibile adottarlo anche all'esterno del Giappone. Le informazioni raccolte da queste ricerche hanno avuto un ruolo fondamentale nell'evoluzione della *Lean Production* in Occidente:

sempre più aziende, infatti, hanno visto in questo sistema produttivo un buon metodo per riuscire a guadagnare un vantaggio competitivo rispetto ai rivali del settore.

2.1 Eliminazione dei Muda

Come già accennato, la gestione snella nasce con l'obiettivo di eliminare gli sprechi, quelli che in giapponese vengono chiamati *Muda*. Considerando l'importanza di ogni cliente all'interno dell'azienda; per Muda si intende qualsiasi attività umana che assorbe risorse ma non crea valore. Taiichi Ohno ha identificato i primi sette tipi di sprechi, che si possono trovare in tutte le aziende:

- **Sovraproduzione:** si verifica quando si produce o si acquista il materiale prima di quanto richiesto, o in quantità troppo elevata. Secondo Ohno questo è uno degli sprechi più pericolosi, perché tende a nascondere i problemi della produzione, e dà origine ad altri Muda.
- **Difetti:** errori che portano alla produzione di semilavorati e prodotti finiti fuori specifica, che devono essere rilavorati o scartati. Questo tipo di spreco può causare un allungamento del tempo di produzione, un peggiore servizio al cliente e un aumento dei costi.
- **Scorte:** le scorte di materie prime, semilavorati e prodotti finiti sono tutte considerate uno spreco poiché non producono un guadagno e non sono di alcun valore per il cliente. Inoltre, la presenza di scorte va a coprire altri problemi, che altrimenti porterebbero all'interruzione del flusso. Questo rende anche più difficile migliorare il processo e capire quali sono le inefficienze.
- **Attese:** i dipendenti potrebbero essere in attesa che le apparecchiature di processo completino il proprio lavoro o che si concludano delle attività a monte della catena produttiva.
- **Movimentazioni:** si intendono tutti gli spostamenti eseguiti dagli operatori all'interno dello stabilimento, per recuperare la parte da lavorare o per cercare uno strumento. Queste attività non aggiungono valore e, anzi, allungano inutilmente il tempo di lavorazione.

- **Trasporto:** questo tipo di spreco è simile al precedente, ma riferito al trasporto del prodotto, che rischia di essere danneggiato o di subire dei ritardi.
- **Processo:** sono considerate uno spreco tutte le inefficienze all'interno del processo, che possono causare problemi come l'interruzione del flusso o difetti nei materiali lavorati.

Spesso nella gestione snella si parla anche di un ottavo spreco, cioè lo spreco della creatività umana. Questo si ha quando la direzione non permette alla forza lavoro di partecipare alle attività di miglioramento e di apportare in modo autonomo dei piccoli cambiamenti nel processo.

Nella Lean Production, dare la possibilità a tutte le persone di contribuire al bene dell'azienda può portare a risultati molto positivi, perché spesso le soluzioni migliori a determinati problemi possono essere date da chi esegue il lavoro, piuttosto che da chi lo pianifica. Lo sviluppo, il coinvolgimento e il rispetto per le persone sono tutti concetti chiave della cultura Lean, essenziali per riuscire ad ottenere un ambiente di lavoro dove sia piacevole lavorare e dove ognuno possa dare il proprio contributo, sentendosi importante per il successo dell'azienda.



Figura 2.1 Rappresentazione grafica dei sette Muda

2.2 I cinque principi della Lean Production

Nel momento in cui si decide di intraprendere una trasformazione Lean, un ottimo punto di partenza può essere fornito dal modello di James P. Womack e Daniel T. Jones, che definisce i cinque principi che stanno alla base della gestione snella.

In Fig. 2.2 è illustrato il modello, rappresentato come un ciclo per richiamare uno dei concetti fondamentali di questa filosofia, ossia quello del miglioramento continuo necessario a perseguire l'eliminazione degli sprechi operando su tutti gli aspetti del processo produttivo.



Figura 2.2 Cinque principi Lean di Womack e Jones

- *Value*: il primo principio riguarda la **definizione del valore**. Questo può essere definito esclusivamente dal cliente finale. Assume significato solo nel momento in cui lo si esprime in termini di uno specifico prodotto (bene o servizio o, spesso, entrambi) in grado di soddisfare le esigenze del cliente a un dato prezzo e in un dato momento. Per i produttori, questo concetto può essere piuttosto complesso: spesso, infatti, ciò che per un'azienda è efficiente, in realtà non porta alcun valore aggiunto per il cliente finale, che si trova costretto a pagare un prezzo più alto per

qualcosa che non desidera. È necessario svolgere delle accurate analisi per rilevare i bisogni dei clienti e per riuscire a tradurli in delle specifiche interne all'azienda. A tal proposito, in un reparto di produzione, si può pensare che l'utilizzo di macchinari più tecnologici e complessi sia il modo più efficiente di operare, quando in realtà quello che percepisce il cliente è solo un aumento del prezzo, dovuto ai costi di produzione maggiori.

Quindi bisogna cercare di semplificare il processo, garantendo la stessa qualità finale del bene o servizio, ma con un prezzo più basso.

- *Value stream*: una volta definito il valore, il passo successivo consiste nell'**identificare il flusso di valore**. Esso è costituito dall'insieme delle azioni richieste per condurre un dato prodotto (che sia un bene, un servizio o, sempre più, una combinazione dei due) attraverso i tre compiti critici del management di qualsiasi business: la risoluzione di problemi dall'ideazione al lancio in produzione attraverso la progettazione di dettaglio e l'ingegnerizzazione; la gestione delle informazioni dal ricevimento dell'ordine alla consegna attraverso una programmazione di dettaglio; e la trasformazione fisica della materia prima in un prodotto finito in mano al cliente.

L'analisi del flusso di valore mostra quasi sempre che in esso si possono identificare tre tipi di attività:

- Attività che creano valore;
 - Attività che non creano valore ma stando alle attuali tecnologie e impianti produttivi, sono inevitabili (attività Muda di tipo 1);
 - Attività che non creano valore e possono essere eliminate da subito (attività Muda di tipo 2)
- *Create flow*: Una volta che il valore è stato definito con precisione, che il flusso di valore per un dato prodotto è stato completamente ricostruito e che le attività chiaramente inutili sono state eliminate; il passo successivo richiede che **le attività creatrici di valore fluiscano senza interruzioni**.

Taiichi Ohno e i suoi collaboratori tecnici, tra cui Shigeo Shingo, arrivarono alla conclusione che la vera sfida era quella di creare flussi continui nelle produzioni di piccoli lotti, quando cioè venivano richiesti decine o centinaia di esemplari di un prodotto e non milioni.

- *Establish Pull*: Il quarto principio prevede **l'implementazione di un sistema Pull**, per fare in modo che il flusso del valore sia "tirato" dal cliente. Questo si contrappone alla logica *Push* usata tradizionalmente, dove la produzione è basata sulle previsioni della domanda. In quest'ultimo caso, se le previsioni non sono corrette, si correrà il rischio di non riuscire a soddisfare tutti i clienti o, al contrario, di avere scorte di prodotto finito in eccesso.

In ottica Lean avviene l'opposto: l'attività a valle tira quella a monte. In questo modo il processo a monte inizia a produrre solo quando c'è un'effettiva domanda del processo a valle. Questo sistema può essere gestito tramite un pratico strumento che prende il nome di *Kanban*, il quale si basa sulla standardizzazione delle unità prodotte e trasportate attraverso l'uso di cartellini che regolano la produzione e la movimentazione dei materiali.

- *Seek perfection*: Infine, l'ultimo principio esprime uno dei concetti più importanti della gestione snella, ossia quello della **ricerca della perfezione** attraverso il miglioramento continuo. L'idea è quella di riuscire a mantenere il vantaggio competitivo ottenuto dalle precedenti azioni, cercando di ridurre continuamente gli sprechi ed aumentare il valore. Si può pensare che, nelle aziende, un'azione di miglioramento prevede un cambiamento drastico, che richiede elevati investimenti e da cui ci si aspetta dei risultati nell'immediato. Nonostante ciò, il miglioramento deve essere visto anche come un processo graduale, che coinvolge tutte le persone all'interno dell'azienda.

A tal proposito, tramite il termine giapponese *Kaizen*, che letteralmente significa "cambiare in meglio", si indica l'impegno di ogni persona ad apportare giornalmente dei piccoli miglioramenti. Secondo questo principio, i risultati ottenuti non sono mai un punto di arrivo, quanto piuttosto un punto di partenza per potersi migliorare ulteriormente.

I cinque principi definiti da James P. Womack e Daniel T. Jones, non sono ovviamente gli unici strumenti che garantiscono notevoli miglioramenti. Esistono ulteriori concetti che verranno sintetizzati nei paragrafi successivi.

2.2.1 *Just in time*

Il *Just in time* (JIT) rappresenta una strategia produttiva finalizzata a minimizzare il livello delle scorte avviando la produzione solo quando si manifesta la domanda. In questo modo, è possibile produrre ciò che serve, esattamente quando serve e nella quantità richiesta, riuscendo a mantenere un flusso continuo e rispondendo in modo flessibile al mercato.

Questo concetto segna la transizione fra una produzione *push*, in cui i prodotti dopo esser stati realizzati vengono stoccati in attesa della vendita, ad una *pull*, attraverso la quale possono essere creati prodotti solo nel momento in cui giunge una richiesta da un cliente. Il JIT abbina elementi quali affidabilità, riduzione delle scorte e del lead time, ad un aumento della qualità e del servizio al cliente. In tal modo si riducono enormemente i costi di immagazzinaggio.

2.2.2 *Kanban*

Il kanban è una tecnica della Lean Production che rende possibile un flusso di materiali in ottica Pull.

Kan significa “visuale”, Ban significa “segnale”. Il suo funzionamento si basa infatti sull'utilizzo di cartellini fisici che acconsentono la produzione, l'acquisto o la movimentazione dei materiali.

Alcune informazioni che generalmente si possono trovare su un cartellino kanban sono:

- Il codice del componente interessato
- Il fornitore di quel componente
- Il cliente che richiede quel prodotto
- Il tempo a disposizione per il ripristino
- La quantità da ripristinare
- Il contenitore da utilizzare

Dal momento che i cartellini kanban vengono posizionati su un contenitore che contiene una quantità stabilita di un componente; solo dopo che questo materiale viene consumato il cartellino viene passato al fornitore che può ripristinare i componenti consumati.

Alcuni benefici che si ottengono utilizzando un sistema kanban sono i seguenti:

- Eliminazione della sovrapproduzione
- Aumento della flessibilità nella risposta alla domanda del cliente
- Semplificazione del sistema informativo legato alla produzione
- Maggiore integrazione nella catena dei processi che vanno dai fornitori fino ai clienti

2.2.3 Jidoka e poka-yoke

La parola *jidoka* è stata definita da Toyota come “automazione con un tocco umano”. Quindi, se si scopre un difetto o un malfunzionamento, il macchinario si deve fermare in automatico e i singoli operatori devono immediatamente correggere il problema, interrompendo il flusso produttivo. Interessante a questo proposito è la possibilità dell’operatore di fermare la linea produttiva nel caso in cui emerga un problema.

L’idea implica notevoli costi, in quanto bloccare la linea causa l’arresto di tutte le persone e del flusso di materiali; ma nell’ottica del miglioramento continuo è un passaggio cruciale affinché la risoluzione del problema stesso comporti un risparmio nel lungo periodo. La qualità dei prodotti deve essere monitorata in ogni fase: i membri del team sono responsabili dell’esecuzione dei controlli di qualità prima di consegnare le merci in lavorazione al punto successivo nella linea di produzione. Se viene individuato un difetto o un errore, questo viene immediatamente affrontato, anche se comporta la temporanea interruzione della produzione.

Con il termine *poka-yoke* invece, si identifica uno strumento o una procedura a prova d’errore, che previene la creazione di difetti nel processo di gestione ordini o in quello produttivo. Lo strumento in questione deve essere in grado di rendere difficile e improbabile l’errore anche da parte di personale non particolarmente attento. Si nota immediatamente che i principi alla base del *jidoka* e del *poka-yoke* sono molto simili poiché guidati dal concetto di miglioramento continuo.

2.3 Single Minute Exchange of Die (SMED)

L’elevata varietà e variabilità della domanda di mercato comporta la necessità per le aziende di dotarsi di sistemi di produzione flessibili e reattivi che permettano una rapida

risposta alle richieste del cliente. Per quanto riguarda l'ambito puramente produttivo, questo comporta la capacità di effettuare un cambio codice senza che questo incida significativamente sulla produttività ed efficienza della linea. Una strada percorribile per ottenere un'alta reattività e flessibilità resta quella della riduzione drastica dei tempi di attrezzaggio, in modo che la loro incidenza sulle operazioni produttive a valore sia minima. Con questo scopo è nata lo SMED, una tecnica che ha l'obiettivo di aumentare la flessibilità, riducendo i tempi di attrezzaggio, senza sacrificare la produttività.

Le prime forme dell'approccio sono state ideate e introdotte dall'ingegnere giapponese Shigeo Shingo. Il suo merito è quello di aver segnato una svolta su come affrontare i problemi del cambio pezzo e del setup delle macchine e degli impianti. I vantaggi derivanti dall'applicazione dello SMED permettono di superare i tipici problemi della produzione di grandi lotti, quali:

- Aumento della disponibilità della macchina e della produttività: i setup non sono attività a valore, anzi, inducono a dei costi di non produzione. Ridurre tali tempi significa avere più tempo per compiere attività produttive riducendo il tempo di fermo macchina dovuto ad attrezzaggi di tipo ordinario.
- Aumento della flessibilità: con una minor incidenza del setup sui tempi ciclo non sarà più necessaria la produzione di grandi lotti per sopperire a lunghi tempi di attrezzaggio. Diretta conseguenza sarà un aumento di flessibilità produttiva che potrà essere impiegata per seguire la domanda (controllo *pull*.)

La metodologia SMED si realizza sostanzialmente in 4 fasi operative:

1. La prima fase consiste nell'analisi dell'attuale processo di cambio produzione. Lo scopo è quello di analizzare criticamente l'attuale processo di set-up (tempi e metodi di attrezzaggio) ed acquisire fin da subito la consapevolezza che vi sono attività che potrebbero essere fatte in "tempo mascherato" mentre la macchina lavora. Le attività a macchina ferma si definiscono IED (Inside Exchange of Die), le attività che si possono effettuare mentre la macchina lavora si definiscono OED (Outside Exchange of Die). In particolare nell'analisi si effettuano le seguenti attività:
 - descrizione delle operazioni svolte da ogni operatore;
 - tempo impiegato per svolgere ogni operazione;

- distinzione tra le attività interna ed esterna (IED/OED);
 - elencazione degli utensili utilizzati per svolgere le varie operazioni e loro localizzazione;
 - individuazione di criticità/opportunità di miglioramento.
2. La seconda fase, probabilmente la più importante in assoluto, mira a convertire per quanto possibile le IED in OED: le uniche fasi che devono essere svolte all'interno del set-up (a macchina ferma), dovrebbero riguardare unicamente lo smontaggio, il montaggio, il centraggio, la regolazione dell'attrezzatura e della macchina. Attraverso questa prima operazione di conversione di attività IED in OED si ottiene già un'importante riduzione del tempo di set-up interno che va dal 30% al 50%.
3. La terza fase è finalizzata ad individuare e studiare le modifiche necessarie al processo per poter convertire nel modo più efficace possibile le attività "interne" in attività "esterne". Alcuni esempi di modifiche del processo, riguardano:
- lo studio di soluzioni per preparare in anticipo le attrezzature (ad esempio preriscaldamento di stampi, presettaggio degli utensili, aree di lavoro più ergonomiche, carrelli set-up dedicati, ecc.);
 - la ridefinizione delle procedure di lavoro (ad esempio rendendo il più possibile le attività eseguibili da un solo operatore);
 - la revisione del layout dell'area di lavoro (ad esempio migliore ergonomia ed efficienza negli spostamenti);
 - lo studio di come rendere accessibili alcune aree di lavoro mentre la macchina è in funzione
4. La quarta ed ultima fase è finalizzata ad ottimizzare sequenza e metodi operativi delle attività interne (IED), sia attraverso soluzioni tecniche (metodi ed attrezzature di lavoro), sia attraverso soluzioni organizzative (parallelizzazione di attività). Di seguito alcuni esempi pratici per ridurre i tempi delle attività interne:
- ottimizzare sequenza e metodi di lavoro;
 - standardizzare attrezzature, strumenti di lavoro e sistemi di fissaggio;
 - sviluppare dispositivi di fissaggio, regolazione e centraggio rapidi;
 - utilizzare utensili a cambio rapido;
 - eliminare l'esigenza delle registrazioni;

- valutare parallelizzazione di attività (team work);
- addestrare gli operatori.

2.4 Total Productive Maintenance (TPM)

Il Total Productive Maintenance è un approccio alla manutenzione messo a punto per minimizzare le fermate indesiderate degli impianti e massimizzare il loro impiego. È una filosofia di miglioramento continuo e di lavoro in team, indirizzata al coinvolgimento della totalità degli operatori, dei manutentori e dei supervisori in modo che loro stessi possano esercitare un diretto controllo sul corretto funzionamento dei loro macchinari.

Questo tipo di attività indica che la manutenzione è finalizzata al mantenimento dell'efficienza degli impianti nel tempo; produttiva in quanto si presuppone l'obiettivo di seguire il miglioramento della produttività degli impianti; totale perché coinvolge in modo attivo tutto il personale.

Il TPM è di fatto uno degli approcci principali all'interno del Toyota Production System e quindi del modello di Lean Production, puntando soprattutto alla riduzione di tutte le possibili “perdite di produzione”:

- perdite per fermate (guasti, cambi produzione, riattrezzaggi, ecc.)
- perdite per velocità (rallentamenti, microfermate, ecc.)
- perdite per qualità (scarti, ecc.)

La sua implementazione diventa necessaria ed essenziale nelle aziende che producono su più turni con impianti che devono garantire la massima efficienza produttiva, attraverso lo sviluppo delle politiche di manutenzione preventiva e migliorativa a discapito della “manutenzione a guasto”. Il TPM si pone l'obiettivo di raggiungere la massima efficienza dagli impianti puntando sull'affidabilità dei processi e all'eliminazione dei loro fermi.

Questo strumento si applica dove il costo degli impianti produttivi risulta rilevante. È possibile rendere efficienti gli impianti strutturando un semplice sistema di manutenzione basato su quattro punti principali:

- Manutenzione autonoma;
- Manutenzione pianificata;

- Miglioramento specifico;
- Miglioramento per la qualità.

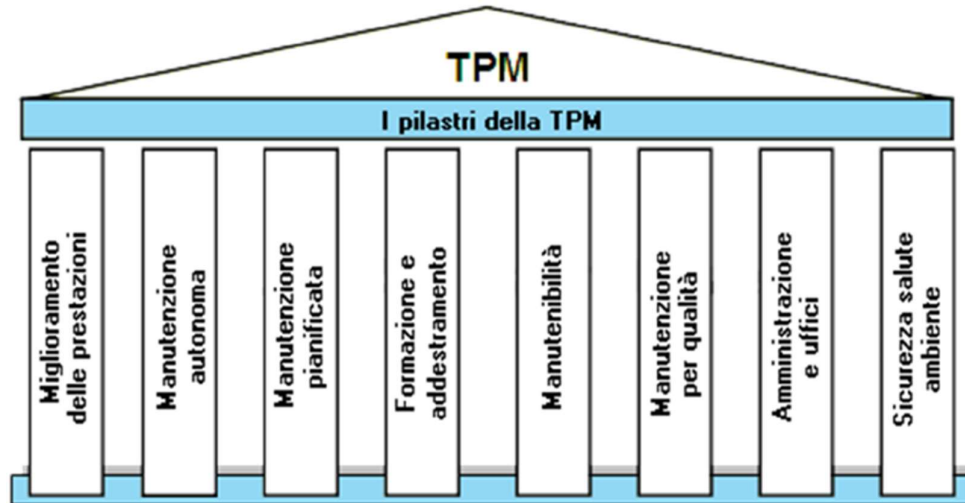


Figura 2.3: Gli 8 pilastri del TPM

Le cause di arresto e le perdite di produzione possono essere suddivise in:

- Esplicite: guasti e produzione eccezionale di scarti.
- Implicite: microguasti, cambi di attrezzi, arresti momentanei, giri a vuoto.

Il TPM permette di evidenziare le fermate implicite da parte del personale di produzione, e implica azioni correttive per ridurre il più possibile tali fermate.

Infine, i pilastri del TPM si basano a loro volta su uno strumento definito col nome di “**5 S**”. L’obiettivo di questa metodologia, consiste nell’eliminare tutto ciò che non è strettamente funzionale all’attività svolta, indipendentemente dall’attività stessa.

- Seiri: eliminare il superfluo che ingombra l’officina
- Seiton: procedere a una sistemazione razionale per evitare le perdite di tempo
- Seico: mantenere l’attrezzatura pulita, al fine di individuare più facilmente le anomalie
- Seiketsu: sistematizzazione degli interventi
- Shitsuke: disciplina nell’eseguire gli interventi mantenendo ordine e pulizia

3 KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI)

In questo capitolo si intende descrivere gli indicatori di performance maggiormente utilizzati in produzione. Tali KPI possono essere suddivisi in diretti e indiretti.

Gli indicatori diretti riguardano esclusivamente la funzione aziendale *Produzione*; quelli indiretti invece, riguardano altre funzioni aziendali come ad esempio la *Qualità* e la *Manutenzione*.

Di conseguenza, sarà necessario fornire una panoramica su quelle che sono le funzioni aziendali sopracitate prima di definire i KPI monitorati nello stabilimento Sogefi di Sant'Antonino di Susa.

3.1 La Funzione Produzione

Il compito della Funzione Produzione è di porre a disposizione i prodotti indicati dalla funzione marketing nelle quantità e qualità richieste, al minimo costo possibile. Nulla impone tuttavia che tutte le fasi necessarie ad ottenere i prodotti debbano essere svolte all'interno dell'azienda; al contrario correttamente è ritenuto opportuno specializzarsi solo su alcune tecnologie, con riflessi positivi sull'omogeneità degli impianti e della manodopera e in definitiva sulla redditività.

I principali problemi che devono essere risolti in tema di configurazione produttiva sono, a livello di impresa: la dimensione delle singole unità produttive; il grado di produzione da svolgere internamente o da demandare ai fornitori; la ripartizione delle lavorazioni tra le singole unità produttive. Invece a livello di stabilimento: il grado di automazione degli stabilimenti; la successione delle lavorazioni; i sistemi di collegamento fra gli impianti. La gestione del flusso produttivo è affidata a schemi e tecniche differenti a seconda delle scelte di politica economica e commerciale. Essenzialmente la produzione è suddivisa in due categorie: **produzione per il magazzino** e **produzione per commessa**.

La produzione per il magazzino è programmata in funzione alle previsioni di vendita, cioè prima che la domanda si manifesti effettivamente. Le principali problematiche riguardano: l'attendibilità delle previsioni; la minimizzazione dei costi essendo tale

impostazione produttiva orientata all'efficienza; la necessità di saturare la capacità produttiva poiché i costi di questo tipo di organizzazione sono prevalentemente fissi e rigidi. A seconda del grado di flessibilità, la produzione a magazzino si suddivide in:

- **a grandi lotti o in serie**, per la realizzazione di prodotti standardizzati con poche varianti: la struttura produttiva e le risorse umane sono specializzate;
- **su processo continuo**, per un solo prodotto: la struttura produttiva e le risorse umane sono rigide.

La produzione su commessa invece, è avviata solo dopo specifica richiesta dal committente ed è orientata al servizio. Le principali problematiche riguardano: la compatibilità delle capacità produttive con i tempi di consegna desiderati dal cliente e la programmazione delle operazioni che variano sensibilmente nel tempo. A seconda del grado di flessibilità, la produzione a commessa si suddivide in:

- **su progetto**, in caso di proposta o di stretta collaborazione con l'utilizzatore: la struttura produttiva e le risorse umane sono sostanzialmente versatili (ne sono esempio l'impiantistica industriale e la costruzione di opere pubbliche);
- **su modello**, nell'ipotesi di fabbricazione di prodotti in piccola serie, adeguando il modello del produttore alle esigenze dell'utilizzatore: la struttura produttiva è adattata ai cambiamenti delle esigenze del cliente (la produzione di beni strumentali è conforme a detta struttura).

Nello stabilimento Sogefi di Sant'Antonino di Susa la produzione viene pianificata in funzione degli ordini dei clienti. Inoltre poiché esistono più canali di vendita (Paragrafo 1.2), avviene sia produzione su progetto che su modello.

Sotto il profilo tecnico, la progettazione dello stabilimento industriale richiede anche la definizione del layout degli impianti, in rapporto alle caratteristiche del processo produttivo, alle esigenze di bilanciare il carico delle macchine e di limitare la movimentazione dei materiali in corso di lavorazione. Il layout può essere strutturato:

- **a catena**: le macchine sono collocate in sequenza delle fasi di lavorazione. È utilizzato in caso di unico prodotto realizzato in grandi volumi e in assenza di varianti significative;

- **per reparto:** le macchine sono riunite in gruppi omogenei per funzione e operazione (ad esempio, reparti per la rettifica e la tornitura). La disposizione è adatta in caso di produzioni su modello o per piccoli lotti;
- **a isole o *group technology*:** all'interno dell'unità produttiva sono distinti gruppi nei quali le macchine, anche molto diverse, sono aggregate secondo la sequenza delle fasi di lavorazione.

Accanto alla Funzione Produzione sussistono strutture preposte al servizio qualità (dirette ad assicurare la qualità, l'affidabilità e l'utilizzabilità del prodotto), ai trasporti interni (preposti alla movimentazione del prodotto in fase di lavorazione), alla manutenzione (indirizzata all'attività di riparazione dei beni strumentali) e alla programmazione della produzione.

3.2 Le Funzioni Qualità e Manutenzione

Come già accennato, la Funzione Produzione viene affiancata dalle funzioni di Qualità e Manutenzione. I compiti fondamentali del **Quality Management** sono:

- analizzare i flussi aziendali e progettare il loro adeguamento ai vincoli aziendali ed esterni
- garantire la coerenza del sistema e la conformità alle esigenze della norma
- promuovere all'interno dell'organizzazione un'idea di qualità intesa come qualità dell'organizzazione e non solo del prodotto
- formare ed informare il personale in merito agli strumenti della qualità che l'organizzazione decide di adottare
- pianificare e condurre le verifiche ispettive interne per assicurarsi che tutte le attività dell'organizzazione avvengano in conformità a quanto descritto nella documentazione di sistema

Per quanto riguarda la Funzione **Manutenzione** invece, è noto che l'usura e l'invecchiamento diminuiscono l'efficienza delle attrezzature (macchine, apparecchiature, fabbricati, ecc). Per questi motivi, le azioni manutentive devono ripristinare le attrezzature.

Gli scopi principali della manutenzione sono:

- rallentare, per quanto possibile, il decadimento delle attrezzature, tenendole continuamente sotto controllo, eseguendo le necessarie riparazioni e revisioni
- assicurare il mantenimento delle funzionalità e del valore dei beni

Manutenzione correttiva o “a guasto”: viene eseguita a seguito della rilevazione di un’avarìa. Ha il compito di riportare un’entità nello stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta.

Manutenzione preventiva: si effettua a seguito dell’individuazione e della misurazione di uno o più parametri e dell’extrapolazione secondo modelli appropriati del tempo residuo prima del guasto. Si divide in:

- Manutenzione ciclica (avviene con un periodo costante)
- Manutenzione predittiva (basata sulla valutazione della vita residua di un componente stimabile dalla misura di un suo parametro di funzionamento)
- Manutenzione secondo condizione (sostituzione di un componente al raggiungimento di una soglia misurabile per un suo parametro di funzionamento)

Manutenzione migliorativa: rappresenta l’insieme delle azioni di miglioramento o piccola modifica che non incrementano il valore patrimoniale dell’entità.

Manutenzione produttiva: insieme di attività volte alla prevenzione, al miglioramento continuo e al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione al conduttore dell’entità, avvalendosi del rilevamento di dati e della diagnostica sull’entità da mantenere.

3.3 KPI diretti di Produzione

Nel sito produttivo Sogefi di Sant’Antonino di Susa, gli indicatori usati in maniera diretta dalla produzione sono:

- OEE: Overall Equipment Effectiveness
- Efficienza di manodopera

3.3.1 OEE

Come è stato spiegato nel paragrafo 2.4, il Total Productive Maintenance ha il compito di migliorare e mantenere l'efficienza produttiva delle macchine e degli impianti. Per monitorare questi aspetti si fa uso di uno specifico KPI: l'Overall Equipment Effectiveness.

Attraverso l'OEE, è possibile individuare il peso delle cause fondamentali di perdita di produzione negli impianti. In particolare, si parla di *six big losses*: fermate per guasto, tempi di set up, colpi a vuoto o piccole fermate, perdita di velocità, scarti e rilavorazioni, perdite in avviamento.

Nella Figura 3.1, è possibile osservare uno schema che mette in evidenza le sei cause fondamentali di perdita di produttività negli impianti:

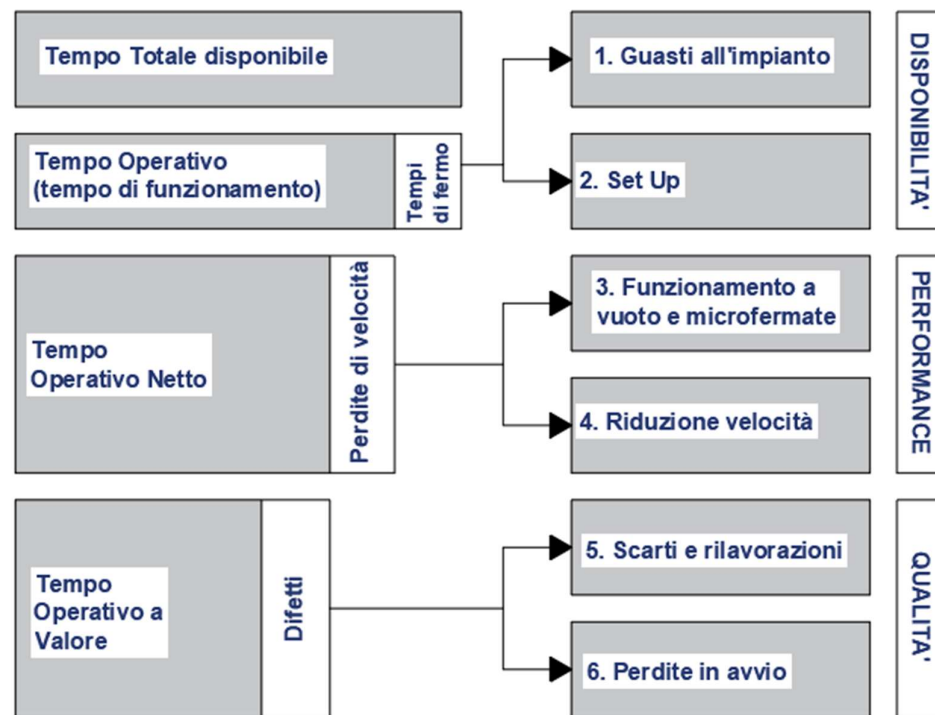


Figura 3.1: Rappresentazione grafica dei six big losses

L'indicatore preso in esame dunque, è una misura espressa in termini percentuali ottenuta mettendo in relazione tra loro tre indicatori: l'indice di Disponibilità (D), l'indice di

Performance (P) e il tasso di qualità (Q). Un basso valore di OEE limita la reale capacità produttiva delle singole fasi del processo che diventano spesso un collo di bottiglia.

Indice di disponibilità

$$D = \frac{\text{Tempo Operativo}}{\text{Tempo Disponibile}}$$

- *Tempo Operativo = Tempo Disponibile – Tempi di fermo (guasti, set up, attrezzaggi, regolazioni)*
- *Tempo Disponibile = Tempo totale di apertura impianto – Tempo per fermate pianificate (break e pranzi, fermi pianificati, manutenzione programmata)*

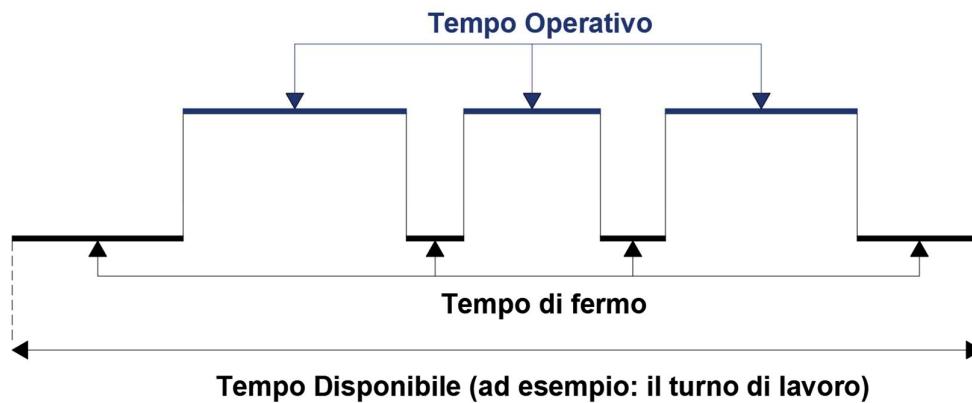


Figura 3.2: Rappresentazione grafica del Tempo Operativo

Indice di Performance

Questo indice serve per valutare l'entità delle perdite di produttività dovute a microfermate, funzionamento a vuoto e riduzioni di velocità. Prende anche il nome di *Speed rate*.

$$P = \frac{\text{Tempo Operativo Netto}}{\text{Tempo Operativo}}$$

- *Tempo Operativo Netto = Tempo ciclo standard × Pezzi Totali Prodotti*
- *Tempo Ciclo Standard =*
Tempo standard che la macchina impiega per processare un pezzo

- *Pezzi Totali Prodotti* = pezzi buoni + pezzi scartati + pezzi difettosi

Tasso di qualità

$$Q = \frac{\text{Pezzi Totali Prodotti} - \text{Difetti Totali}}{\text{Pezzi Totali Prodotti}}$$

Quest'ultimo indicatore può anche essere calcolato in funzione dei tempi:

$$Q = \frac{\text{Tempo Operativo a Valore}}{\text{Tempo Operativo Netto}}$$

- *Tempo Operativo a Valore* = *Tempo Ciclo Standard* × *Pezzi Buoni*

Dunque l'Overall Equipment Effectiveness, si ricava dal prodotto dei tre indicatori appena descritti:

$$OEE = D \times P \times Q \quad [\%]$$

3.3.2 Efficienza di manodopera

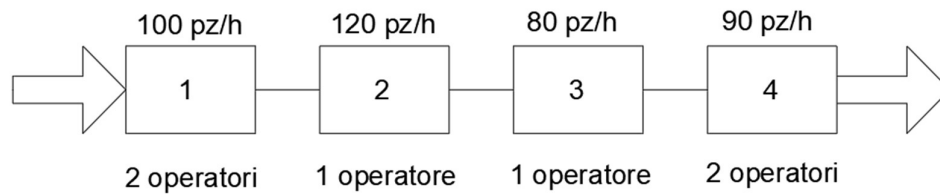
Il secondo KPI diretto di Produzione che viene costantemente monitorato nel sito produttivo preso in esame è l'efficienza di manodopera (EDM). Esso viene calcolato nel seguente modo:

$$EDM = \frac{\text{Ore di produzione}}{\text{Ore di presenza}} \times 100$$

Per identificare la differenza tra il numeratore e il denominatore, bisogna innanzitutto mettere in chiaro che nello stabilimento Sogefi di Sant'Antonino di Susa, la produzione giornaliera è suddivisa su due turni di 8 ore. Dal momento che sono consentite pause programmate durante la giornata lavorativa, l'effettiva presenza di personale sulle varie stazioni si riduce a 7,1 ore per turno.

Dunque in un turno, le **ore di presenza** vengono calcolate semplicemente tramite prodotto delle 8 ore lavorative per il numero di operatori presenti sulla linea presa in esame. Le **ore di produzione** invece, vengono calcolate a partire dai pezzi effettivamente

prodotti durante il turno di lavoro. Analizzando l'esempio seguente si riesce a comprendere il calcolo dell'efficienza di manodopera:



La velocità oraria di questa linea produttiva è vincolata dalla stazione n° 3 poiché risulta essere il macchinario più lento. Quindi idealmente, la linea potrebbe produrre 80 pz/h. Supponendo che al termine del turno siano stati realizzati 430 pz, è possibile calcolare le ore di produzione:

$$\text{Ore di produzione} = \frac{430 \text{ pz}}{80 \text{ pz/h}} = 5,375 \text{ h}$$

Quindi l'efficienza di manodopera sarà pari a:

$$EDM = \frac{5,375 \text{ h}}{8 \text{ h}} \times 100 = 67,19\%$$

Inoltre, si nota che questo KPI presenta sempre un valore massimo inferiore al 100%. Questo perché anche se la linea lavorasse in assenza di qualsiasi inefficienza, comunque gli operatori sarebbero presenti sulle stazioni per 7,1 ore anziché 8.

3.4 KPI indiretti di produzione

Esistono ulteriori indicatori prestazionali che non riguardano in modo diretta la Funzione produzione. Nonostante ciò, hanno un effetto sul calcolo dell'OEE e dell'efficienza di manodopera. Nello stabilimento Sogefi preso in esame, gli altri KPI che vengono continuamente monitorati sono:

- PPM: Parti Per Milione KPI di Qualità
- MTBF: Mean Time Between Failure KPI di Manutenzione

3.4.1 PPM

Un modo pratico per valutare il livello di qualità dei prodotti realizzati avviene attraverso il calcolo dei PPM. Questo KPI è facile da interpretare e può essere utilizzato per stimare facilmente l'andamento nel tempo dei pezzi non conformi. In questo modo verranno evidenziati i problemi su macchina e le eventuali carenze di competenze da parte degli operatori, che portano alla generazione di difetti.

$$PPM = \frac{\sum \text{pezzi di scarto}}{\sum \text{pezzi prodotti}} \times 10^6$$

3.4.2 MTBF

Prima di definire il significato di questo KPI, è necessario fornire una definizione di “affidabilità”. Secondo la normativa UNI EN 13306, l'affidabilità rappresenta “l'attitudine di un'entità a svolgere la funzione richiesta in date condizioni, durante un intervallo di tempo stabilito”.

In altre parole non è nient'altro che la probabilità che suddetta entità funzioni correttamente (senza guasti e/o perdite di efficacia) durante un determinato periodo di tempo e a partire da condizioni di funzionamento date. Da ciò si deduce che, affinché l'affidabilità di un'entità sia determinabile, è necessario che:

- Si fissi in modo inequivocabile un criterio per determinare se un elemento funziona o no;
- Si stabilisca con precisione le condizioni ambientali e di utilizzo;
- Si definisca l'intervallo di tempo durante il quale si vuole che l'entità si trovi in stato operativo.

Gli indici di affidabilità misurano la cosiddetta “affidabilità effettiva”, cioè la propensione al buon funzionamento di una macchina durante un anno lavorativo. Esistono molti indici che permettono di misurare l'affidabilità di una macchina, tuttavia quello globalmente utilizzato si chiama Mean Time Between Failures (MTBF), ossia il tempo che mediamente intercorre tra due guasti consecutivi (ovviamente si fa riferimento a macchinari che possono essere ripristinati).

Il tempo trascorso tra la fine di uno stato di avaria e il guasto successivo lungo una linea temporale si chiama *Time Between Failure* (TBF). Andando a osservare la macchina per un periodo di tempo sufficientemente lungo, si registreranno eventi di guasto in numero tale da permettere il calcolo di un quantitativo d'indici TBF significativo per un'operazione di media. A questo punto l'MTBF, si calcola come media dei valori di TBF ottenuti.

Questo indice prestazionale viene spesso affiancato dall'MTTR: Mean Time To Repair, traducibile come “tempo medio di riparazione”. Quanto più è organizzata una funzione di Manutenzione e tanto più piccolo sarà il risultato di quest'ultimo indicatore.

Dal momento che MTBF e MTTR sono strettamente legati al concetto di “affidabilità”, il calcolo di questi indicatori permette di prendere importanti decisioni sia per quanto riguarda la possibile scelta di nuove attrezzature, sia per stabilire la politica di manutenzione da applicare per ripristinare un macchinario.

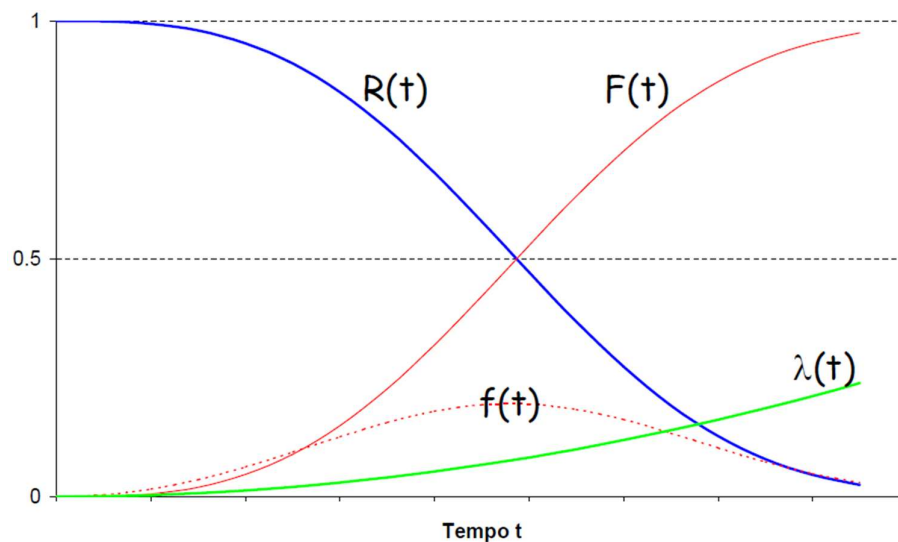


Figura 3.3: Andamento nel tempo delle funzioni di affidabilità

- **$R(t)$ → Funzione affidabilità:** Avendo N dispositivi identici, funzionanti nelle stesse condizioni, la curva $R(t)$ rappresenta la frazione di dispositivi in vita al tempo t (probabilità di sopravvivenza al tempo t).
- **$F(t)$ → Probabilità di guasto al termine del tempo t :** Rappresenta il complemento a 1 della funzione di affidabilità $R(t)$.

- **$f(t) \rightarrow$ Densità di probabilità di guasto al tempo t :** È la probabilità di guasto per unità di tempo all'istante t ; quindi rappresenta la derivata di $F(t)$ all'istante t . Nel caso di degradazioni dovute essenzialmente all'usura si utilizza la legge di distribuzione normale.
- **$\lambda(t) \rightarrow$ Tasso di guasto al tempo t :** $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$. È la probabilità di guasto dei dispositivi rimasti in buono stato al tempo t . Si osserva che la funzione inversa $\left(\frac{1}{\lambda(t)}\right)$ rappresenta l'MTBF nel caso di $\lambda(t)$ costante nel tempo. Questa funzione viene definita come sovrapposizione di due curve:
 - a) Curva di eliminazione dei difetti di giovinezza dopo la messa in servizio
 - b) Curva di comparsa del fenomeno di usura e di degrado

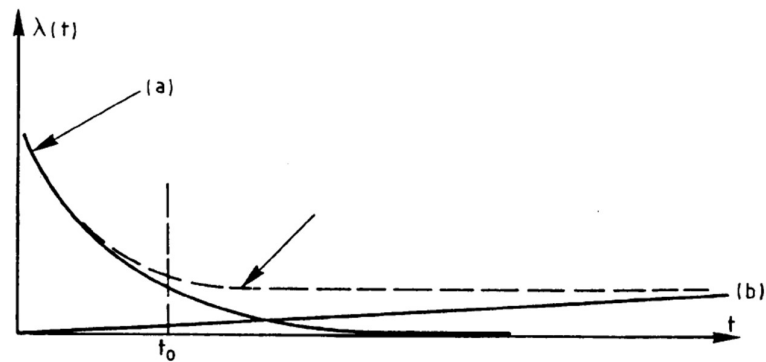


Figura 3.4: Andamento nel tempo di $\lambda(t)$ nel caso di componenti elettronici

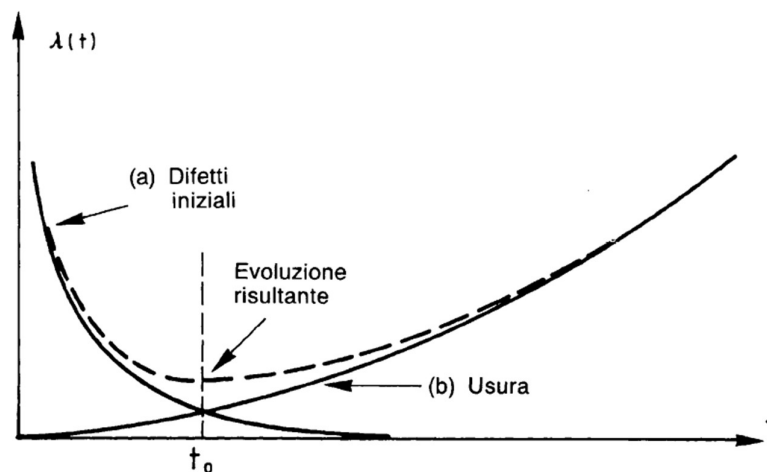


Figura 3.5: Andamento nel tempo di $\lambda(t)$ nel caso di componenti elettromeccanici

Poiché le leggi di affidabilità sono necessarie per determinare la politica di manutenzione più appropriata, se il tasso di guasto $\lambda(t)$ è costante, non conviene effettuare la sostituzione in quanto non si migliora l'affidabilità (guasti di gioventù). Se invece il tasso di guasto $\lambda(t)$ cresce, conviene effettuare la sostituzione una volta raggiunto un determinato livello (usura).

Riprendendo in considerazione la funzione $R(t)$, si rende noto che si utilizza una legge esponenziale decrescente se il tasso di guasto $\lambda(t)$ è costante. Se ciò non accade si utilizza la *legge di Weibull*:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\alpha}\right)^\beta}$$

- β : Parametro di forma
- α : Parametro di scala
- γ : Parametro di posizione o correzione dell'origine dei tempi
- t : Tempo di utilizzazione o unità di servizio reso

Ponendo: $x = \frac{t-\gamma}{\alpha}$, si ottiene la formula ridotta: $R(x) = e^{-(x)^\beta}$

La densità di probabilità risulta essere: $f(x) = \beta \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-x^\beta}$

Il tasso di avaria invece, diventa: $\lambda(x) = \beta \cdot x^{\beta-1}$

Si nota che per $x=1$ le curve $F(x)$ passano tutte per lo stesso punto: $F(1) = 1 - e^{-1} = 0,632$

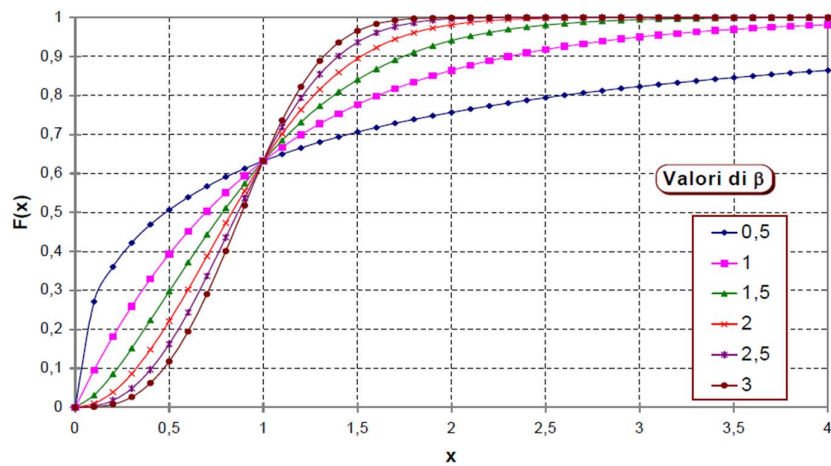


Figura 3.6: Andamento della funzione $F(x)$ al variare del parametro di forma β

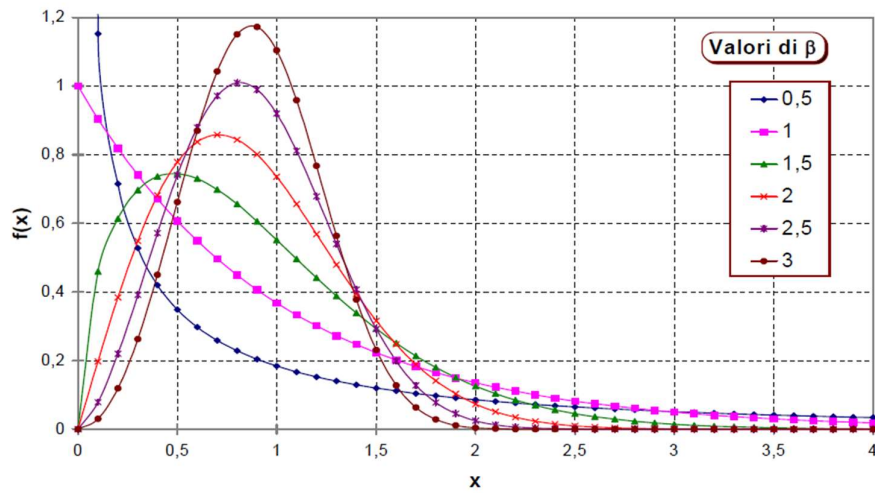


Figura 3.7: Andamento della funzione $f(x)$ al variare del parametro di forma β

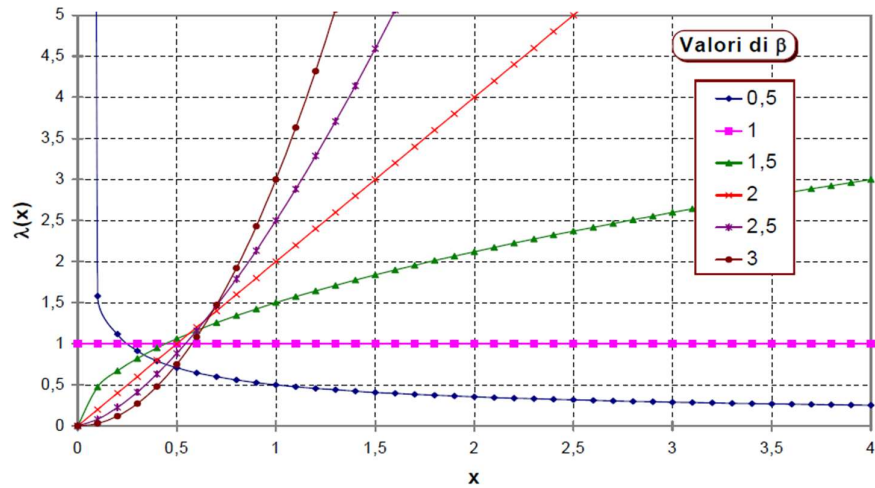


Figura 3.8: Andamento della funzione $\lambda(x)$ al variare del parametro di forma β

È possibile semplificare la trattazione utilizzando la “trasformazione di Allan Plait”. In questo modo, la distribuzione di Weibull assume una forma lineare.

$$F(x) = 1 - R(x) = 1 - e^{-x^\beta} \rightarrow e^{x^\beta} = \frac{1}{1-F(x)}$$

Passando due volte ai logaritmi si ottiene:

$$\beta \cdot \ln(x) = \ln\left(\ln \frac{1}{1-F(x)}\right)$$

Ponendo:

$$A = \ln(x)$$

$$B = \ln\left(\ln \frac{1}{1 - F(x)}\right)$$

si ottiene

$$B = \beta \cdot A$$

Di conseguenza, è possibile stimare il *Mean Time Between Failure* nel seguente modo:

$$MTBF = \alpha \cdot K$$

$$K = f(\beta)$$

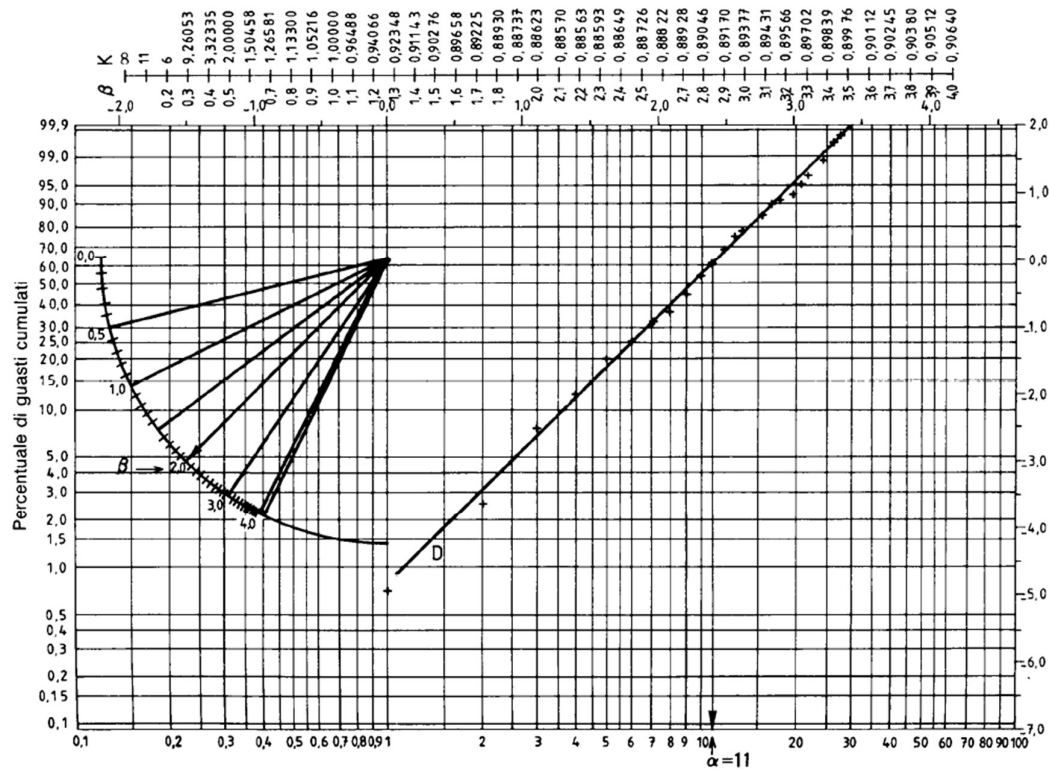


Figura 3.9: Misurazione dell'MTBF tramite metodo grafico

4 CLASSIFICAZIONE DELLE LINEE DI ASSEMBLAGGIO

In questo capitolo vengono definite diverse tipologie di linee di assemblaggio. In questo modo sarà possibile classificare la linea che verrà presa in considerazione in questo lavoro di tesi.

Una linea di assemblaggio consiste in un insieme di *workstations* collocate su un nastro trasportatore o un altro sistema di movimentazione. Una stazione rappresenta una frazione della linea di assemblaggio ed è caratterizzata da un insieme di macchinari ed attrezzature, e da un ben definito carico di lavoro che viene svolto da un operatore.

I prodotti da assemblare si muovono lungo la linea attraversando le diverse stazioni, in ciascuna delle quali viene eseguito un ben definito insieme di operazioni (task) che concorrono alla costituzione dell'assemblato finale. Questi task si considerano indivisibili, ovvero non possono essere ulteriormente scomposti in attività più elementari.

Ciascuno di questi task è soggetto a dei vincoli di precedenza tecnologica, ovvero deve obbligatoriamente essere eseguito prima di un altro task che viene definito suo successore. È logico pensare che un sistema di assemblaggio possa essere declinato in una molteplicità di forme differenti in relazione alle decisioni progettuali caratteristiche delle diverse realtà aziendali. A seguire verranno quindi illustrati i vari criteri sulla base dei quali possono diversificarsi i moderni sistemi di assemblaggio.

4.1 Classificazione in funzione del ritmo di produzione

Le linee di assemblaggio vengono definite sincrone (*paced assembly line*) quando il tempo di lavoro di ciascuna stazione è vincolato dal tempo ciclo T_c , cioè il massimo tempo di lavorazione che può essere richiesto da ciascuna stazione.

Al raggiungimento di questo valore, il sistema di movimentazione fa procedere automaticamente i prodotti lungo la linea, e l'operatore successivo si farà carico di lavorazioni eventualmente incomplete. Per questo motivo tali linee sono note anche come linee di assemblaggio a cadenza fissa.

Il tasso di produzione di questa tipologia di linea è costante, ovvero dalla linea uscirà un prodotto ad ogni intervallo di tempo pari a T_c .

In alternativa vengono definite le linee di assemblaggio asincrone (*unpaced assembly line*), in cui ciascuna stazione lavora ad una velocità differente. In questo caso possono crearsi delle situazioni in cui il prodotto è costretto ad aspettare prima di entrare nella stazione seguente (che si trova in situazione di *work overload*), o in alternativa delle stazioni possono rimanere vuote (*idle*) in attesa di ricevere il prodotto da lavorare.

Questo problema viene risolto predisponendo lo spazio per dei polmoni di accumulo (*buffer*) tra le varie stazioni. Il tasso di produzione di questa tipologia di linea non è costante.

4.2 Classificazione in funzione della varietà di prodotto

In questo caso, si parla di linee di assemblaggio *single model* quando la linea è dedicata alla produzione di una singola tipologia di prodotto.

Nel caso in cui la linea produca diversi modelli di uno stesso prodotto si hanno due possibilità:

- si parla di linee di assemblaggio *multi-model* quando la linea processa i vari modelli a lotti con diversi riattrezzaggi passando da un modello all'altro (*set up*);
- si parla di linee di assemblaggio *mixed-model* quando la linea processa i vari modelli in maniera alternata con lotti di dimensione molto ridotta, anche unitaria, per via dei costi molto contenuti associati alle operazioni di riattrezzaggio.

In una linea di tipo *mixed-model* vengono assemblate più varianti di un prodotto base ed i processi richiesti dai vari modelli sono simili. Questi infatti non hanno differenze fondamentali, ma si diversificano fra di loro per la dimensione dei componenti oppure per la presenza di eventuali caratteristiche aggiuntive. Ciò ovviamente comporta che alcune operazioni saranno presenti esclusivamente nel ciclo di lavorazione di alcuni prodotti. I prodotti che vengono assemblati su queste linee sono infatti caratterizzati da quella che viene definita *architettura di tipo modulare*.

In una architettura di prodotto di questo tipo ciascuna delle varie funzionalità che i prodotti sono destinati a svolgere è racchiusa in un singolo componente, definito modulo, caratterizzato da una interfaccia di tipo disaccoppiato. Le interfacce rappresentano la modalità con cui i vari componenti interagiscono fra di loro, ed il loro disaccoppiamento fa sì che eventuali cambiamenti apportati ad un componente non richiedano cambiamenti ad un altro. I vantaggi associati ad un'architettura di questo tipo sono molteplici:

- abbinando tra di loro i vari moduli in maniera diversa è possibile creare un mix di prodotti molto ampio, ed offrire prodotti assemblati in base alle specifiche definite dal cliente;
- in fase di progettazione si può riconoscere come una particolare funzione possa essere svolta dallo stesso componente in ciascuna delle varianti del prodotto, facilitando la realizzazione di economie di scala;
- è più semplice per l'azienda migliorare il prodotto andando a riprogettare semplicemente uno dei vari moduli;
- è facilitata la gestione di un sistema di produzione di tipo ATO (*assembly to order*).

Questa tipologia di linea è ampiamente sfruttata nelle aziende moderne poiché vi è la possibilità di lavorare con lotti di produzione molto piccoli per adattarsi rapidamente ad eventuali variazioni della domanda di mercato, riducendo considerevolmente il livello delle scorte.

Le linee di assemblaggio *mixed-model* sono infatti associate alla filosofia produttiva del *just in time*, ovvero consentono di produrre ciò che il cliente vuole esattamente quando lo vuole. Il mix di prodotti è facilmente ottenibile poiché i vari modelli presentano una matrice comune, e si differenziano per pochi componenti o per qualche fase di lavorazione. Le linee *mixed-model* generalmente sono di tipo asincrono, a causa dei diversi tempi di lavorazione dei vari modelli. La presenza di buffer tra le stazioni consente di gestire lo squilibrio che si genera nelle diverse postazioni a causa della differenza nei tempi di lavorazione dei vari prodotti. Nella Figura 4.2 vengono rappresentate le diverse tipologie di linea di assemblaggio sopra citate.

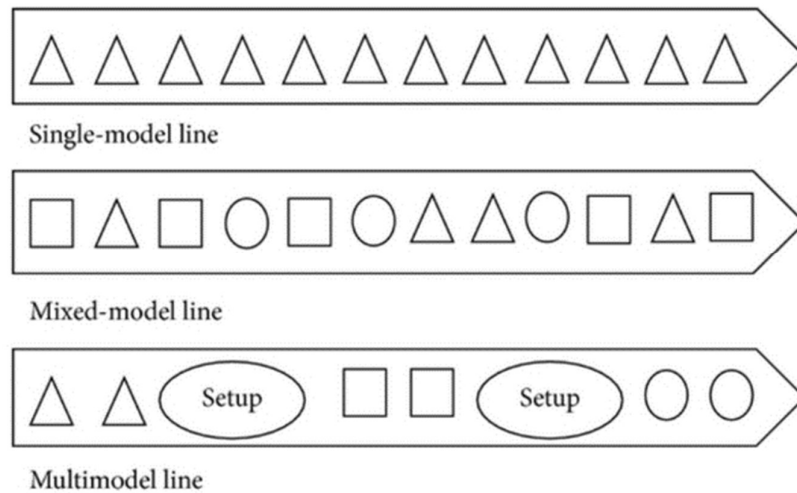


Figura 4.2: Classificazione grafica delle linee di assemblaggio

4.3 Classificazione in funzione del grado di automazione

Si possono individuare diverse categorie di linea di assemblaggio in funzione delle attrezzature utilizzate sulle varie stazioni.

Si parla di linee di assemblaggio manuali quando tutte le attività vengono svolte da un operatore umano mediante l'utilizzo di attrezzi meccanici o macchine utensili.

Nelle linee di assemblaggio semiautomatizzate vi è invece una compresenza di operatore umano e macchinari, con i primi solitamente impiegati in attività di monitoraggio e approvvigionamento, mentre le operazioni vere e proprie vengono eseguite dalla macchina. Infine, si parla di linee di assemblaggio automatizzate quando ogni attività del processo viene svolta in maniera autonoma dalle macchine. È chiaro che la scelta di quali attrezzature e macchinari adottare è strettamente connessa alla modalità di risposta che l'azienda vuole offrire al mercato.

Un maggiore livello di automazione della linea è associato a volumi produttivi elevati e a linee di assemblaggio di tipo *single model* oppure *multi-model*, caratteristici di tutte quelle realtà che producono per il magazzino (*make to stock*), in maniera da poter appagare la domanda di mercato nel minor tempo possibile.

Linee di assemblaggio di tipo manuale o semiautomatizzate sono invece caratteristiche di tutte quelle imprese che scelgono di offrire al cliente una gamma di prodotto più ampia

seppur in tempi più dilatati (*assembly to order*) mediante l'utilizzo di linee di tipo *mixed-model*, oppure di aziende che producono direttamente su commessa (*make to order*).

Prendendo infine in considerazione l'aspetto economico, è evidente come a mano a mano che il grado di automazione della linea di assemblaggio aumenta, cresce anche il costo dell'investimento e i futuri costi di gestione legati alla manutenzione o sostituzione dei macchinari causa obsolescenza tecnica.

4.4 Classificazione in funzione della tipologia di layout

Le linee di assemblaggio tradizionali presentano un layout di tipo rettilineo, con le molteplici stazioni posizionate in successione tramite un nastro trasportatore oppure un sistema a rulli.

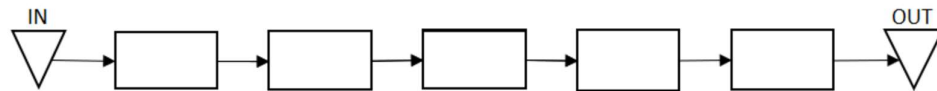


Figura 4.3: Layout rettilineo

Questo tipo di linea favorisce il rifornimento frontale dei materiali, poiché si riduce il tempo di ricerca dei componenti da parte degli addetti alla produzione.

Inoltre, nei siti produttivi capita che linee diverse siano accomunate da una lavorazione eseguita su macchinari comuni, ed un layout di questo tipo può permettere allora di accoppiare due linee, per farle poi convergere quando necessario.

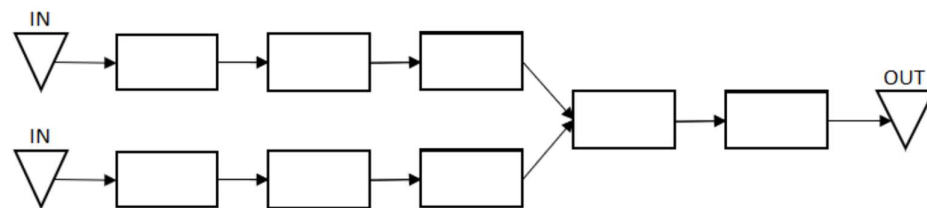


Figura 4.4: Layout accoppiato

Ulteriore variante di questa tipologia di layout è rappresentata dalla parallelizzazione di una o più stazioni, che consiste nella duplicazione di una o più *workstations* generalmente caratterizzate da un tempo ciclo molto superiore delle altre.

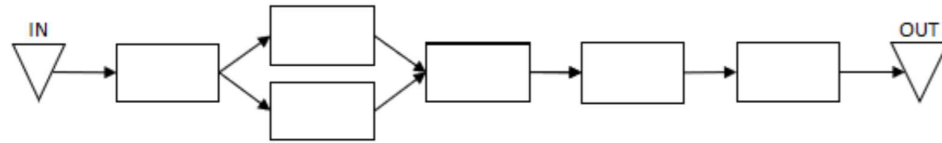


Figura 4.5: Layout con parallelizzazione

I principali svantaggi di una linea a layout rettilineo si osservano a livello di *team working*, gli operatori infatti non hanno modo di valutare il lavoro degli altri, e questo influisce negativamente sulla collaborazione e sulla comunicazione. Inoltre, il flusso di materiale è particolarmente corposo nella prima e nell'ultima stazione, rendendo obbligatoria la presenza di due diversi magazzini.

Questi problemi possono essere risolti adottando un layout a parallelogramma, in cui il flusso di materiale in ingresso e quello in uscita sono dalla stessa parte, con la possibilità quindi di rendere la linea comunicante con un solo magazzino. La collocazione delle stazioni in questo modo favorisce inoltre il livello di coinvolgimento degli operatori.

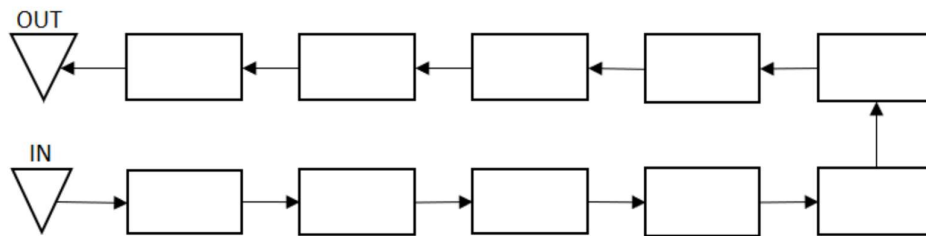


Figura 4.6: Layout a parallelogramma

Un beneficio aggiuntivo è rappresentato dalla diminuzione della superficie occupata da parte della linea. Tuttavia questo è ottenuto a discapito della semplicità di alimentare le stazioni con il materiale necessario, contrariamente a quanto ottenibile con un layout rettilineo. Infine, un'ulteriore tipologia è rappresentata dal layout ad U.

Analogamente al layout a parallelogramma, in queste linee l'ingresso e l'uscita del prodotto sono posizionati sullo stesso lato. In questa struttura tuttavia, il numero di

operatori che si occupano dell'assemblaggio è inferiore al numero di stazioni presenti, ad esempio un operatore si occuperà di esaminare contemporaneamente la prima e l'ultima stazione della linea.

Una configurazione di questo tipo stimola il teamworking tra i vari operatori poiché risulta più facile aiutarsi l'uno con l'altro quando necessario. Richiede tuttavia che gli operatori siano specializzati su più macchinari in quanto è necessario controllare diverse fasi del processo di assemblaggio.

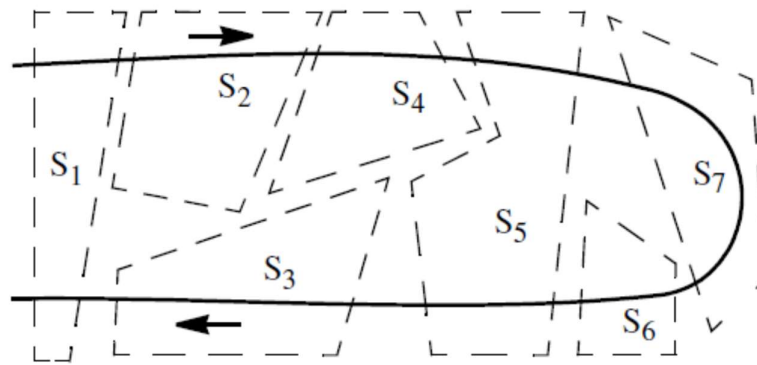


Figura 4.7: layout ad U

5 DETERMINAZIONE DELLA LINEA MAGGIORMENTE CRITICA

In questo capitolo viene descritto il metodo utilizzato per individuare le linee di assemblaggio più critiche. Il layout dello stabilimento *Sogefi filtration* preso in esame, è suddiviso in 3 APA (Autonomous Production Area):

- APA 1: dedicato alla produzione dei semilavorati
- APA 2: produzione del “*modulo ricaricabile*” (sistema di filtrazione dell’olio)
- APA 3: produzione dei filtri “*spin-on*” (filtri olio e gasolio)

Lo studio è concentrato solo sulle linee di assemblaggio degli APA 2 e 3, in quanto i prodotti finiti realizzati su queste linee sono gli elementi che creano valore economico per l’azienda.

Di conseguenza, intervenendo sulle linee più critiche è possibile incrementare rapidamente i KPI dell’intero stabilimento. Questi infatti, vengono calcolati facendo il valor medio degli indicatori delle singole linee produttive.

In un primo momento, si può pensare di analizzare l’andamento nel tempo dell’OEE e dell’efficienza di manodopera per ogni singola linea. In questo modo si ha un resoconto delle problematiche, ma non è sufficiente per determinare le linee più critiche.

Questo perché si potrebbero avere valori molto bassi di OEE e efficienza di manodopera su una linea produttiva che ha un tempo totale di funzionamento più basso rispetto ad altre linee che invece hanno valori dei KPI superiori.

Infatti, il tempo totale di funzionamento di una linea dipende esclusivamente dai volumi annui che bisogna realizzare.

Quindi non ha senso concentrarsi subito sulla linea che presenta il peggior andamento dei KPI poiché quella linea non è detto che venga utilizzata per realizzare volumi annui molto elevati.

5.1 Dati del problema

Le informazioni necessarie per inquadrare il caso di studio devono fare riferimento a un unico arco temporale. Dal momento che questo percorso di tesi in azienda è iniziato il giorno 01/10/2019, tutti i dati prelevati fanno riferimento al periodo di tempo che va dal 01/10/2018 al 30/09/2019.

Dunque per ogni linea di assemblaggio sono stati esaminati i seguenti dati:

- V_{PF} : volumi annui di prodotti finiti realizzati [pz/anno]
- T : numero di turni in cui ogni linea ha lavorato [turni/anno]
- v_m : Velocità media di ogni linea (ricavata come valor medio dei cicli effettuati su ciascuna linea) [pz/h]
- N_{op} : numero medio di persone necessarie a condurre ciascuna linea produttiva (ricavato come valor medio dei cicli effettuati su ciascuna linea)

5.2 Metodo utilizzato

Il primo passo per risolvere questo problema consiste nel calcolare le “*ore di presenza annua*” (O.P.A.). Sapendo che un turno ha una durata di 8 ore, si procede al seguente calcolo:

$$O.P.A. = 8 \frac{h}{turno} \cdot T \cdot N_{op} \quad \left[\frac{h}{anno} \cdot N_{op} \right]$$

Successivamente, conoscendo i volumi annui delle singole linee, è stata calcolata la “*velocità virtuale di produzione*” (v_v):

$$v_v = \frac{V_{PF}}{O.P.A.} \cdot N_{op} \quad \left[\frac{pz}{h} \right]$$

Tramite quest’ultima grandezza, è possibile simulare la produzione oraria di una linea nell’arco temporale considerato. Facendo un confronto tra questa velocità e il dato di velocità media, si ricava un “*indice di criticità*” (I.C.) che ha il compito di stabilire quanto la produttività oraria di ogni linea si discosta dallo standard di velocità definito dalla Funzione aziendale *Ingegneria di Processo*.

$$I.C. = \left(1 - \frac{v_v}{v_m}\right) \cdot 100$$

Ovviamente, i calcoli soprariportati, sono stati effettuati per tutte le linee di assemblaggio presenti all'interno dello stabilimento.

Nella tabella seguente sono stati riportati i valori numerici:

LINEA	V _{PF} [pz/anno]	N _{op}	T [turni/anno]	O.P.A. [h/anno]	V _v [pz/h]	V _m [pz/h]	IC [%]
L450	366346	12	132	12672	346,9	1244,1	72,1
L514	452519	6	396	19008	142,8	213,0	32,9
L810	1469421	8	223,5	14304	821,8	1600,5	48,7
L790	1624954	8	220	14080	923,3	1597,8	42,2
L590	474725	7	124	6944	478,6	1507,6	68,3
L460	632475	7	104	5824	760,2	1286,3	40,9
L900	53783	3	236	5664	28,5	43,1	34,0
L930	8480	2	78	1248	13,6	20,0	32,1
L940	71687	3	171	4104	52,4	77,7	32,6

Tabella 5.1: Calcolo dell'indice di criticità per ogni linea di assemblaggio

Conoscendo il valore di I.C. per ogni linea, è stato possibile ricavare un istogramma che mette in evidenza le linee maggiormente critiche.

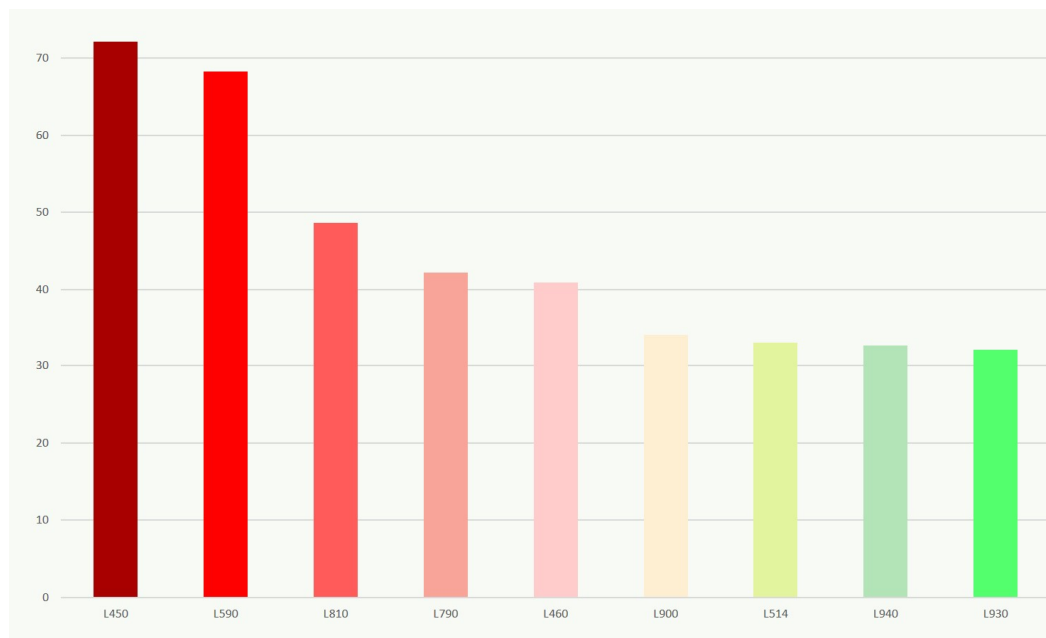


Figura 5.1: Classificazione del grado di criticità delle linee di assemblaggio

Secondo il *principio di Pareto*, in un sistema di causa-effetto, il 20% delle cause produce l'80% degli effetti. Dunque la prima linea produttiva su cui conviene intervenire nel breve periodo è la *L450* poiché presenta un indice di criticità del 72,1%.

Solo dopo aver esaminato e risolto le problematiche presenti su tale linea, il management potrà passare alla valutazione delle criticità sulle altre linee di assemblaggio.

La linea *L450* è semiautomatizzata in quanto alcune attività di assemblaggio vengono effettuate dai macchinari, altre invece dagli operatori presenti su alcune stazioni. All'interno dello stabilimento la linea è posizionata nell'APA3.

Tale linea può essere definita *multi-model* a causa dei continui set-up che bisogna effettuare obbligatoriamente per passare dalla produzione di una categoria di prodotto a un'altra. Infatti al variare del mix-produttivo variano i tempi di riattrezzaggio delle macchine. Su questa linea vengono assemblati i filtri gasolio, i quali si dividono in 3 categorie di prodotto (Paragrafo 1.5).

Il **filtro gasolio Spin-on** presenta la seguente *Bill of Materials* (BOM):



Figura 5.2: BOM del filtro gasolio Spin-on

Il processo di assemblaggio associato può essere schematizzato nel seguente modo:

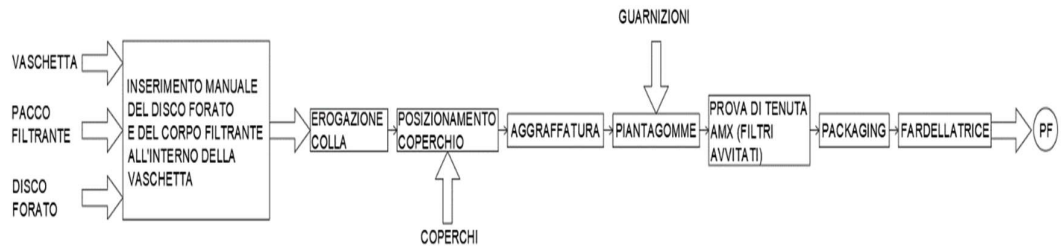


Figura 5.3: Processo di lavorazione del filtro gasolio Spin-on

Nel caso di **filtro gasolio FCS** si ha la seguente *Bill of Materials*:

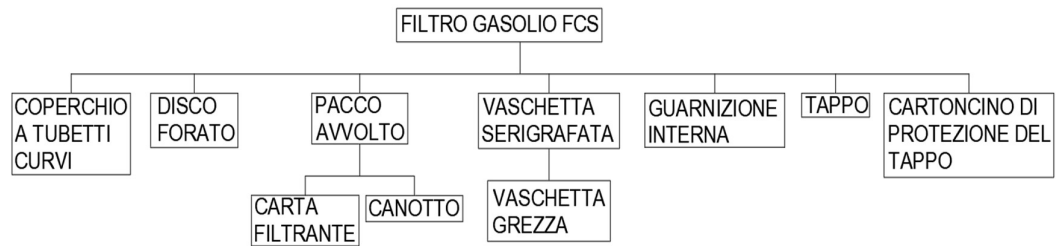


Figura 5.4: BOM del filtro gasolio FCS

A cui è associato il seguente processo di lavorazione:

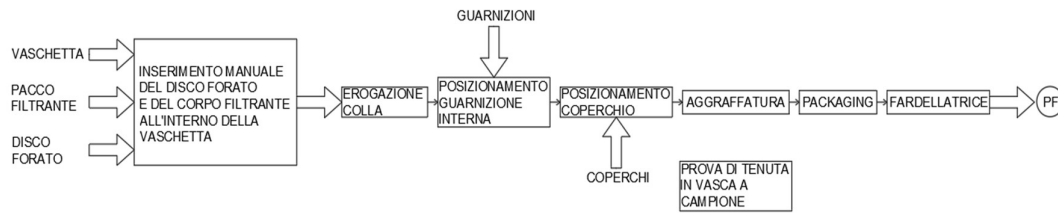


Figura 5.5: Processo di lavorazione del filtro gasolio FCS

Si osserva che la prova di tenuta non viene effettuato sul 100% degli elementi che vengono assemblati, ma avviene a campione ogni 3 minuti.

Infine il **filtro gasolio ONE**, presenta la seguente *Bill of Materials*:

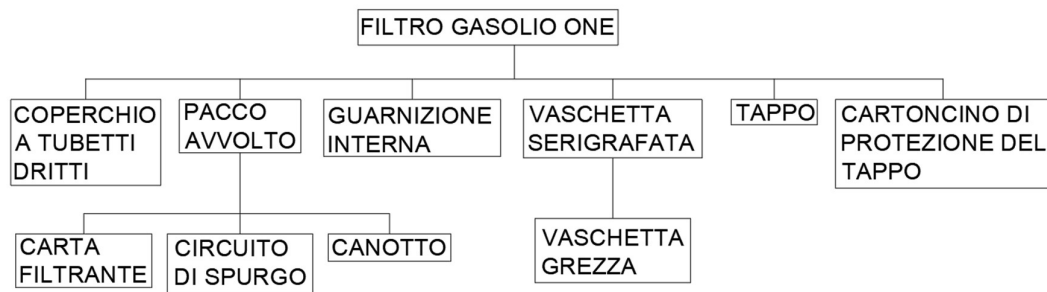


Figura 5.6: BOM del filtro gasolio ONE

In quest'ultimo caso, il processo di assemblaggio non si realizza interamente sulla linea L450 poiché vi è un “*pre-assemblaggio*” manuale su una stazione svincolata dalla linea presa in esame. Dunque il processo effettuato sulla L450 è il seguente:



Figura 5.7: Processo di lavorazione del filtro ONE

6 ANALISI 4M E DEFINIZIONE DI UN PIANO D'AZIONE

Nel capitolo precedente sono stati definiti i processi di lavorazione che vengono eseguiti sulla linea L450 per realizzare le tre tipologie di filtro gasolio. In questo modo, è stato fornito lo scenario di partenza dell'impianto. Ora bisogna comprendere quali sono i motivi che hanno portato a creare inefficienza sulla linea presa in considerazione. A tal proposito, è necessario definire alcuni strumenti che il management utilizza per ricercare le criticità e per gestirle con lo scopo di eliminarle.

6.1 Il problem solving

Il problem solving è un approccio manageriale del Total Quality Management (TQM) che comprende una serie di strumenti volti a risolvere i problemi individuati nell'ambito del proprio lavoro e a ottimizzare i processi aziendali. Tali strumenti si suddividono in strumenti per inquadrare e analizzare un dato fenomeno e in strumenti che, partendo dai dati raccolti e rielaborati, consentono di individuare le cause e ricercare le soluzioni. Nella prima categoria rientrano i seguenti strumenti.

- *Raccolta dati.* Consente di ottenere un quadro della situazione di partenza di un dato fenomeno attraverso una serie di dati significativi e rappresentativi, nonché di valutare gli effetti di azioni correttive messe in atto. Nell'impostazione operativa di tale strumento occorre:
 - chiarire bene lo scopo della raccolta dei dati;
 - controllare che i dati raccolti siano utili alla conoscenza del fenomeno oggetto di analisi;
 - definire in modo preciso gli aspetti tecnici della rilevazione (disponibilità e addestramento del personale, strumenti necessari, metodo di rilevazione, modulistica) e la forma più opportuna per consentire la successiva elaborazione dei dati.

- *Stratificazione*. È rivolta a classificare i dati relativi a un dato fenomeno in sottogruppi che ne rappresentano una stratificazione logica e quindi a consentire di individuare i fattori di significatività del fenomeno stesso. Viene utilizzata in fase di analisi dei dati per avere indicazioni sulle aree del problema da esaminare in modo più approfondito. Le modalità applicative prevedono:
 - la scelta delle variabili di stratificazione da utilizzare; le variabili dovrebbero essere definite prima di avviare la raccolta dati in modo che essi siano raccolti in modo coerente con le analisi che si vogliono condurre;
 - la definizione, per ciascuna variabile di stratificazione scelta, delle categorie di valori in cui stratificare i dati;
 - la suddivisione dei dati nelle categorie delle variabili di stratificazione;
 - il calcolo del fenomeno misurato per ciascuna categoria;
 - la rappresentazione dei risultati in forma grafica.

Per la rappresentazione grafica si ricorre alla tecnica dell'istogramma che associa a ogni categoria di dati della variabile analizzata una barra la cui altezza è espressiva della frequenza della categoria stessa.

- *Diagramma di Pareto*. Detta anche analisi ABC, è una tecnica di rappresentazione dei dati relativi a un dato fenomeno utilizzata per separare i pochi fattori essenziali dai molti utili. Essa si basa sul principio di Pareto che afferma che in qualsiasi gruppo di fattori che contribuiscono a creare un determinato effetto un numero relativamente basso di essi è responsabile per il grosso dell'effetto. Nell'ambito dell'attività di miglioramento viene utilizzata per ordinare le cause dei problemi per priorità in modo da individuare quelle da cui iniziare. Per la costruzione del diagramma di Pareto si procede attraverso i seguenti passi:
 - si ordinano i fattori per importanza;
 - si calcola la percentuale di ciascun fattore sul totale;
 - si calcola la percentuale cumulativa in corrispondenza di ciascun fattore;
 - si riporta per ciascun fattore una colonna di altezza proporzionale alla percentuale;
 - si riporta la percentuale cumulativa in corrispondenza di ciascun fattore.

- *Diagramma di correlazione.* È uno strumento per individuare l'esistenza di un rapporto tra due parametri di un dato fenomeno. Nel miglioramento della qualità viene utilizzato per verificare e analizzare i rapporti causa-effetto. L'individuazione di una correlazione tra due cause o tra una causa e un effetto può infatti fornire utili indicazioni per l'eliminazione del problema permettendo di:
 - formulare un'ipotesi sul rapporto causa-effetto relativamente al problema in esame;
 - raccogliere i dati sulle variabili in esame e costruire un diagramma di correlazione;
 - identificare e considerare l'andamento della correlazione.
- *Istogramma.* Costituisce una forma di rappresentazione grafica dei dati relativi a un determinato fenomeno che consente di analizzare la loro variabilità e quindi di valutare le caratteristiche del fenomeno.
- *Carte di controllo.* Si tratta di strumenti della metodologia statistica che consentono di tenere sotto controllo la variabilità dei processi produttivi di tipo ripetitivo. Esse forniscono un'indicazione sulla produzione realizzata e sulle tendenze future, in modo da anticipare gli interventi volti a eliminare i possibili difetti. La valutazione dell'andamento del processo viene ricavato dalla distribuzione dei punti della carta. In particolare un processo è sotto controllo se tutti i punti sono all'interno dei limiti e sono distribuiti in maniera casuale.

Nella categoria volta a individuare le cause e ricercare le soluzioni rientrano invece i seguenti strumenti.

- *Diagramma causa-effetto (Paragrafo 6.2).* È uno strumento rivolto a guidare l'individuazione delle possibili cause del problema da risolvere. Esso consente un'efficace rappresentazione delle ipotesi formulate circa le possibili cause di un problema oggetto di analisi in modo da esplicitarne le interrelazioni. La costruzione del diagramma si basa sui seguenti passi:
 - si raggruppano le ipotesi sulle possibili cause del problema elaborate in fase di *brainstorming* in famiglie di cause;
 - si costruisce per ciascuna famiglia una spina che viene collegata alla spina principale;

- si collegano a ciascuna spina le cause riconducibili a quella famiglia;
 - si collegano a ciascuna causa le sottocause;
 - si controlla la validità logica di ogni catena causale.
- *Brainstorming*. È una tecnica di gruppo impiegata per l'identificazione delle cause di un problema e per la ricerca delle soluzioni. Consiste nell'enunciare idee così come vengono in mente senza alcun filtraggio inibitorio e critico: le idee espresse stimolano nel subconscio dei componenti il gruppo di lavoro una reazione a cascata determinando, per associazione di idee, per l'effetto del contrario, per il perfezionamento di un'idea già enunciata una vera e propria tempesta di idee. Le idee proposte dal gruppo vengono successivamente analizzate criticamente per valutarne la validità. Nell'applicazione di tale tecnica è necessario tenere presente le seguenti raccomandazioni:
 - il gruppo deve essere costituito da persone che hanno esperienza del problema da esaminare e deve avere un leader che ne coordini il lavoro;
 - il problema oggetto di studio e gli obiettivi del gruppo devono essere definiti per iscritto ed essere chiari a tutti;
 - i partecipanti devono intervenire uno alla volta e devono esporre un suggerimento alla volta;
 - un partecipante che non ha idee da suggerire può passare e intervenire nel giro successivo;
 - non bisogna cercare di spiegare le idee proposte ma limitarsi ad enunciarle;
 - le idee proposte devono essere riportate su lavagne in modo che ciascun partecipante possa trarre dalle idee enunciate spunti per nuovi suggerimenti;
 - il modo di pensare deve essere libero da convenzioni, pieno di immaginazione e persino estremo;
 - allo scopo di scoraggiare il pensiero analitico o critico, i partecipanti al gruppo devono cercare di produrre il massimo numero di nuove idee nel minor tempo possibile;
 - per evitare la rottura dell'atmosfera che si viene a creare bisogna evitare commenti, critiche e discussioni.

- *CEDAC* (Cause Effect Diagram with Additional Cards). È una metodologia che consente di gestire l'attività di miglioramento nell'ambito di un ufficio o di un reparto produttivo con la partecipazione di tutte le risorse che vi operano. Essa si basa su un tabellone posto sul luogo di lavoro (ufficio, reparto) su cui viene evidenziato il problema da risolvere e su cui vengono raccolte, tramite cartellini posti dalle persone che vi operano, le ipotesi sulle cause del problema e le proposte di soluzione avanzate.
- *Diagramma ad albero*. È una metodologia che consente di individuare i diversi elementi che caratterizzano un dato fenomeno attraverso la sua disaggregazione con un dettaglio via via crescente. Esso viene applicato in molteplici situazioni, tra cui:
 - nell'analisi delle catene causali concorrenti a determinare un'anomalia;
 - nella definizione delle fasi e delle attività di un progetto nell'ambito della tecnica *Work Breakdown Structure* (WBS) impiegata nel project management;
 - nell'analisi funzionale dei prodotti e dei processi nell'ambito dell'analisi del valore.

6.2 Diagramma di Ishikawa

Il diagramma di Ishikawa, detto anche diagramma a spina di pesce (*fishbone*) o diagramma causa-effetto, viene utilizzato per individuare le cause che hanno prodotto un determinato effetto.

Il diagramma presenta una forma ad albero orizzontale di tipo gerarchico. Nella testa del pesce si colloca il difetto, il problema, l'evento critico, l'incidente. Lungo le spine del pesce si collocano le cause che provocano inefficienze, o che potrebbero causarle.

Kuaro Ishikawa nel 1943 ha proposto questo diagramma con cui cercare le varie cause a monte dell'evento, e suggerisce di suddividerle secondo il principio delle *4M*:

- **MAN**: Vengono commessi errori da parte degli operatori presenti sulla linea.
- **MACHINE**: Le macchine e le attrezzature causano difetti o si rivelano malfunzionanti.

- **METHOD:** Le procedure standard che gli operatori devono seguire per realizzare i prodotti risultano essere poco chiare o addirittura errate.
- **MATERIAL:** I materiali che raggiungono la linea sono di scarsa qualità o presentano delle non conformità

Quindi, qualsiasi problematica all'interno di un sito produttivo deve rientrare in una delle categorie appena elencate. Ishikawa ricorda infatti che qualsiasi evento, anche il più trascurabile, ha sempre più di una causa, e che per scoprire le cause che a loro volta provocano ulteriori problematiche, è necessario indagare sul singolo problema fino ad estrapolare la “*causa radice*”. A questo punto si arriva ad un livello che esula dalle nostre possibilità, e ci aiuta a restare nell'ambito del problema vero e proprio. Le *4M* rappresentano delle indicazioni di massima da cui partire, ma in realtà ogni azienda possiede uno standard in cui possono essere identificate altre categorie di problemi oltre alle classiche *4M* enunciate da Ishikawa.

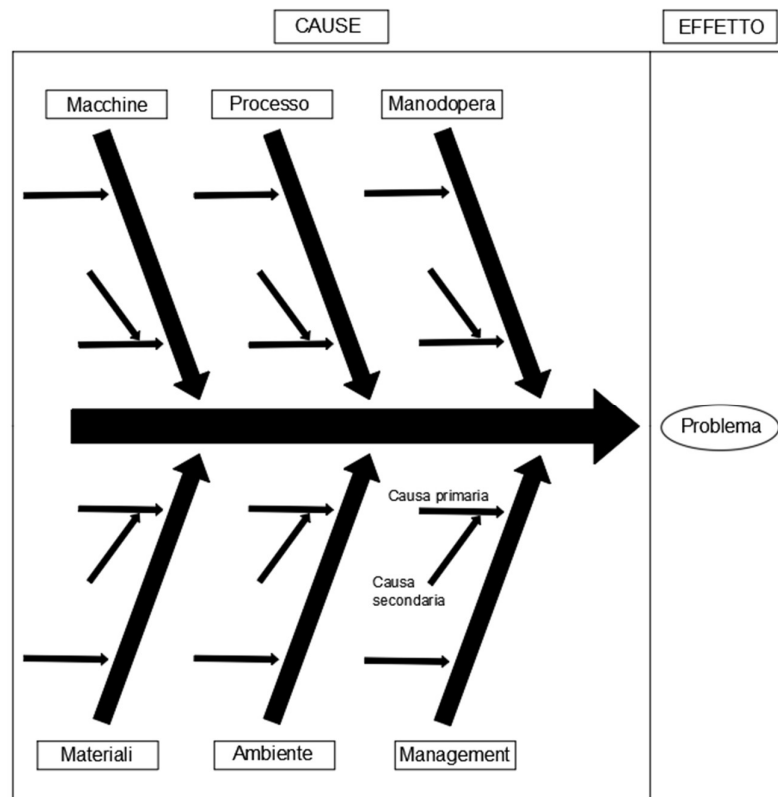


Figura 6.1: Esempio di diagramma di Ishikawa

Nel momento in cui si effettua un'analisi di questo tipo, assume notevole importanza la definizione di un piano di raccolta dei dati. Ciò consente di ridurre la probabilità di compiere errori durante la fase di misurazione. Infatti, gli errori che solitamente si commettono durante la raccolta dei dati sono dovuti a mancanza di precisione nella misurazione e mancanza di condizioni definite. Dunque la raccolta dei dati deve avvenire in modo ordinato e deve essere rappresentata con chiarezza per facilitare le successive analisi.

Prendendo in considerazione questi accorgimenti è stato possibile ricavare un diagramma di Ishikawa che rispecchia il caso preso in esame. L'analisi di raccolta dati è durata circa due mesi in modo tale da analizzare spesso la linea in fase di produzione. Le criticità sono state suddivise nelle classiche 4M al fine di ottenere il seguente risultato:

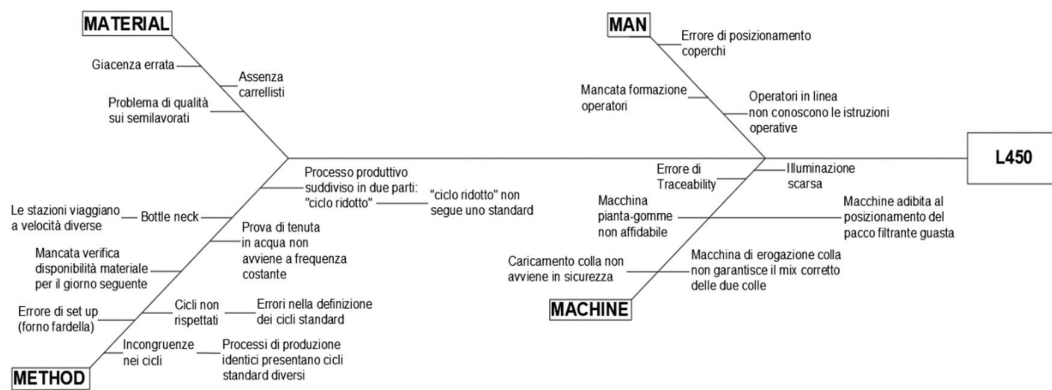


Figura 6.2: Diagramma di Ishikawa L450

- **MAN:**
 - Errore di posizionamento coperchi
 - Mancata formazione operatori
 - Operatori in linea non conoscono le istruzioni operative
- **MACHINE:**
 - Illuminazione scarsa
 - Errore di Traceability
 - Macchina piantagomme non affidabile
 - Macchina adibita al posizionamento del pacco filtrante guasto
 - Caricamento colla non avviene in sicurezza

- Macchina di erogazione colla non garantisce il mix corretto delle due colle
- **MATERIAL:**
 - Giacenza errata
 - Assenza carrellisti
 - Problema di qualità sui semilavorati
- **METHOD:**
 - Processo produttivo suddiviso in due parti
 - Bottle Neck
 - Prova di tenuta in acqua non avviene a frequenza costante
 - Mancata verifica disponibilità materiale per il giorno seguente
 - Cicli di produzione non rispettati
 - Incongruenze nei cicli di produzione
 - Errori di set-up

6.3 Plan Do Check Act (PDCA)

La metodologia PDCA fornisce un approccio logico e strutturato all'attività di miglioramento: partendo dall'identificazione di un problema, riscontrato nel funzionamento di un processo, essa procede nella definizione dei cambiamenti da apportare per eliminare il problema (*Plan*), nella loro attuazione (*Do*), nella successiva verifica della loro efficacia (*Check*) e, se questa è dimostrata, nel confermare il cambiamento apportato che diventa il nuovo standard operativo (*Act*).

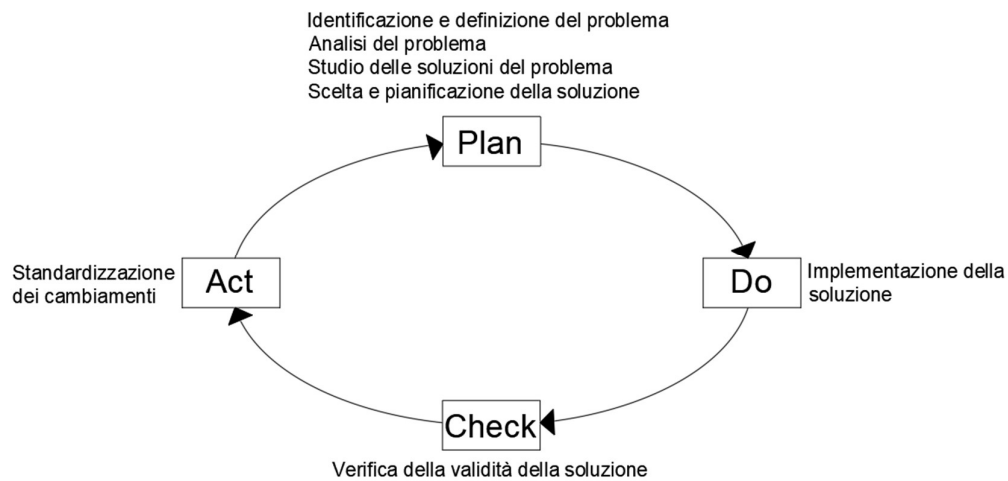


Figura 6.3: Ciclo PDCA

Il metodo PDCA presenta una forma ciclica perché viene utilizzato per perseguire il miglioramento continuo attivando i tre cicli descritti di seguito.

- **CICLO DEL MANTENIMENTO:** È il ciclo che si inserisce a valle delle fasi PLAN e DO ed ha lo scopo di verificare se ciò che è stato pianificato ed attuato continua a dare i risultati attesi. In caso di CHECK positivo la fase ACT consiste nel mantenere lo stato attuale e continuare a verificarne l'adeguatezza. In caso di CHECK negativo, invece è necessario attivare il ciclo dell'azione correttiva.
- **CICLO DELL'AZIONE CORRETTIVA:** Nel caso in cui l'esito del CHECK sia negativo, ossia i risultati ottenuti non siano quelli desiderati, si attiva il ciclo dell'azione correttiva per modificare la situazione. Il ciclo è costituito da due componenti:
 - Il rimedio, ossia l'azione immediata finalizzata a correggere gli effetti.
 - La prevenzione, ossia l'azione pianificata finalizzata a rimuovere le cause.
- **CICLO DEL MIGLIORAMENTO:** Questo ciclo ipotizza la corretta esecuzione dei primi due cicli in quanto il miglioramento è tanto più efficace quanto più stabile è la situazione iniziale. Il ciclo di miglioramento si avvia quando, nonostante il ciclo di mantenimento indichi risultati positivi, è necessario che nascano nuove idee su come ottenere ulteriori miglioramenti. È quindi necessario ripartire dalla fase PLAN in quanto occorre elaborare nuove azioni per

raggiungere nuovi obiettivi. Se dopo l'applicazione di queste azioni il CHECK dà esito positivo, allora si torna al ciclo di mantenimento, altrimenti si attiva quello dell'azione correttiva.

Vi sono alcuni punti inerenti al cambiamento gestionale che secondo Deming vengono utilizzati per migliorare la qualità e ridurre i costi di produzione.

- Creare stabilità nelle idee per migliorare i prodotti e i servizi, al fine di diventare competitivi sul mercato.
- Non è più possibile accettare come normali i comuni livelli di ritardo, di non conformità dei materiali, di errori.
- Costruire la qualità nei processi a monte, ossia fin dalle prime fasi di sviluppo del prodotto o del servizio.
- Non valutare i fornitori solo in base al prezzo, ma lavorare per minimizzare il costo totale e costruire con loro rapporti a lungo termine di fiducia e fedeltà.
- Migliorare in modo continuativo tutti i processi.
- Predisporre piani di formazione e di addestramento continuativi dei dipendenti.
- Orientare i dirigenti ad aiutare i collaboratori per migliorare la qualità del lavoro.
- Coinvolgere tutto il personale per il miglioramento dell'azienda, eliminando la paura ed incoraggiando la comunicazione.
- Rompere ed eliminare le barriere tra uffici, reparti e dipartimenti e favorire il lavoro in team per affrontare, risolvere e prevenire i problemi.
- Sostituire gli obiettivi ed i traguardi numerici per i manager con richieste di azioni di leadership e di motivazione.
- Mettere ogni persona nella condizione di realizzare il cambiamento ed il miglioramento.

Nel caso specifico preso in esame, il piano d'azione (PDCA) è stato ricavato facendo uso della tecnica *5W2H*. Dunque per ogni criticità, è necessario rispondere ad alcuni quesiti:

- **WHAT?:** Qual è il problema?
- **WHY?:** Perché è un problema?
- **WHO?:** Qual è l'ente aziendale coinvolto nel problema?
- **WHERE?:** Dove è localizzato?

- **WHEN?:** Entro quando deve essere risolto?
- **HOW?:** Come può essere risolto?
- **HOW MUCH?:** Quali sono le perdite di efficienza associate a questo problema?

Nr	4M	WHAT?	WHY?	MAIN LOSSES? [h/turno]	STATUS	WHO?	HOW?	WHEN? (Scheduled end date)	WHEN? (Real end date)
1	MAN	Errore di posizionamento coperchi	Se il coperchio non è posizionato correttamente, causa micro-fermate e scarti in fase di aggraffatura	Ore di manodopera: 0 h/turno Ore mancata produzione: 0,4 h/turno (2 min di fermata ogni 40 min)		Manutenzione	Implementare delle guide fisse (regolabili in altezza e larghezza) necessarie per mantenere il coperchio in posizione corretta	31/01/2020	27/01/2020
2	MAN	Operatori in linea non conoscono le istruzioni operative	Istruzioni operative obsolete oppure non presenti su ogni stazione			Ingegneria di processo	Aggiornare le istruzioni di lavoro per ogni stazione	19/02/2020	18/02/2020
3	MAN	Mancata formazione operatori	Solo il Teamleader è in grado di condurre le macchine che costituiscono la linea			Ingegneria di processo	Eseguire corsi di formazione su ogni stazione	19/02/2020	19/02/2020
4	MAN	Giacenza errata (vaschetta, pacco, coperchio)	Impossibilità di concludere alcuni ordini di lavoro			Produzione	Necessaria formazione sulle procedure di dichiarazione scarto e versamento pezzi	11/02/2020	11/02/2020
5	MACHINE	Illuminazione scarsa	La prova di tenuta in acqua risulta più complessa			Manutenzione	Collocare una lampada in prossimità della vasca	31/12/2019	16/12/2019
6	MACHINE	Errore di Traceability	Pezzi con mancata Traceability continuano a scorrere lungo il nastro			Manutenzione	Interfacciare il motore del nastro trasportatore con traceability per fermare il nastro quando la traceability è in allarme	11/02/2020	11/02/2020
7	MACHINE	Macchine adibite al posizionamento del pacco filtrante e del fondello guaste	E' necessario un operatore in più sulla linea	Ore di manodopera: 8 h/turno Ore mancata produzione: 0 h/turno		Manutenzione	Ripristinare l'allineamento della catena del Transfert rispetto alle stazioni di inserimento pacchi e inserimento fondelli (+Ridurre gioco tra bicchieri e catena)	31/01/2020	31/01/2020

Figura 6.4: PDCA della linea L450 (parte 1)

8	MACHINE	Macchina piantagomme non affidabile	E' necessario un operatore che controlli la presenza delle guarnizioni	Ore di manodopera: 8 h/turno Ore mancata produzione: 0 h/turno		Manutenzione	Ripristinare il corretto funzionamento della macchina	07/02/2020	07/02/2020
9	MACHINE	Macchina di erogazione colla non garantisce il mix corretto di colla e catalizzatore	Viene generato scarto	Ore di manodopera: 0 h/turno Ore mancata produzione: 1,6 h/turno (Circa 1 scarto ogni 5 pezzi, considerando vel. media di 800 pz/h)		Ingegneria di processo	Installazione nuovo impianto di erogazione colla	31/12/2019	17/01/2020
10	MACHINE	Caricamento colla	Non avviene in sicurezza			Sicurezza/Ingegneria di processo	Installazione nuovo impianto di erogazione colla	31/12/2019	17/01/2020
11	MACHINE	Macchina di collaudo AMX per filtri ONE	Genera scarti, microfermate e personale in perdita	Ore di manodopera: 8 h/turno Ore mancata produzione: 1,57 h/turno (Considerando microfermate di 2 min ogni 10 min)		Manutenzione/Ingegneria di processo	Ripristinare il corretto funzionamento della macchina	13/02/2020	13/02/2020
12	MATERIAL	Assenza carrellisti	Aumento del Lead Time di produzione	Ore di manodopera: 0 h/turno Ore mancata produzione: 0,5 h/turno		Logistica	Individuare più punti di stoccaggio in cui posizionare il materiale in uscita in attesa del carrellista	30/01/2020	30/01/2020
13	MATERIAL	Dimensione radiale del pacco filtrante eccessiva	Maggiore difficoltà nell'inserire il pacco all'interno della vaschetta			Ufficio tecnico/Ingegneria di processo	Ridurre la massima dimensione radiale accettabile. (Il cordone di colla copre parte del pacco filtrante)	07/02/2020	07/02/2020
14	MATERIAL	Problema di qualità sui semilavorati (coperchi)	Materiale in linea non conforme			Manutenzione	Carico anelli L728: definire uno standard sul range di altezza anelli in fase di lavorazione	14/02/2020	14/02/2020
15	METHOD	Processo produttivo suddiviso in due parti	Riduzione della produzione oraria con personale in perdita	Ore di manodopera: 8 h/turno Ore mancata produzione: 0,25 h/turno (5 min di mancata produzione ogni volta che gli operatori si spostano. In media vengono effettuati 3 spostamenti in un turno)		Ingegneria di processo	Realizzare standard ciclo ridotto	31/01/2020	31/01/2020
16	METHOD	Bottle neck	Stazioni viaggiano a velocità diverse			Ingegneria di processo	Effettuare il corretto bilanciamento della linea	31/01/2020	31/01/2020
17	METHOD	Prova di tenuta in acqua	Non avviene a frequenza costante			Qualità	Verificare standard di prova di tenuta in acqua	16/12/2020	16/12/2020
18	METHOD	Cicli non rispettati	Bassa efficienza di manodopera			Ingegneria di processo	Effettuare il corretto bilanciamento della linea	31/01/2020	31/01/2020

Figura 6.5: PDCA della linea L450 (parte 2)

19	METHOD	Incongruenze nei cicli	Prodotti con lo stesso processo di lavorazione presentano cicli diversi			Ingegneria di processo	Individuare un unico ciclo di lavorazione per i prodotti che seguono le stesse lavorazioni	31/01/2020	31/01/2020
20	METHOD	Mancata verifica disponibilità materiale per codici successivi	Aumento del Lead Time di produzione e mancato rispetto dei programmi di produzione	Ore di manodopera: 0 h/turno Ore mancata produzione: 0,5 h/turno		Produzione	Realizzare procedura standard di verifica materiale per codici successivi	14/02/2020	14/02/2020
21	METHOD	Assemblaggio filtri a tubetti (che non passano da AMX): necessaria presenza di un operatore per inserire il tappino di protezione dei tubetti	Perdita di ore di manodopera	Ore di manodopera: 8 h/turno Ore mancata produzione: 0 h/turno		Ingegneria di processo	Inserire il tappino di protezione dei tubetti in L768 e non in L450	19/02/2020	19/02/2020

Figura 6.6: PDCA della linea L450 (parte 3)

Sono state individuate 21 criticità, e per ognuna di esse viene riportata (nella colonna “STATUS”) la fase in cui si trova l’azione correttiva corrispondente. Dunque un’attività verrà ritenuta conclusa quando il relativo diagramma a torta risulterà completo.

Nel PDCA che è stato compilato non è stata inclusa la colonna che fa riferimento alla domanda “WHERE?” dal momento che nella colonna “WHY?” è già descritto implicitamente dove è localizzata la problematica.

La colonna che invece riporta le perdite di efficienza (“MAIN LOSSES?”) è stata redatta solo per le criticità in cui è possibile stimare delle perdite in termini di *ore di manodopera* e *ore di mancata produzione*. Infatti le inefficienze che nascono sulla linea di assemblaggio possono essere causate sia da operatori che devono svolgere compiti che dovrebbero eseguiti dai macchinari, sia a causa di micro-fermate generate da macchine malfunzionanti o da metodi di esecuzione dei task inadeguati.

Non tutte le azioni correttive che sono state proposte nel PDCA presentano un approccio puramente didattico e accademico; per esempio alcune attività riguardano semplicemente malfunzionamenti e guasti di macchinari, oppure mancata formazione degli operatori presenti sulla linea. Di conseguenza, nelle pagine seguenti verranno analizzate nel dettaglio le azioni correttive che introducono aspetti legati ai concetti della *Lean Production*.

7 PROPOSTE DI MIGLIORAMENTO

Come è stato precedentemente affermato, alcune attività presenti nel PDCA hanno carattere prettamente operativo e possono essere analizzate molto rapidamente, altre attività invece necessitano di spiegazioni più dettagliate.

Le criticità che riguardano aspetti operativi si suddividono in:

- Inefficienze legate al malfunzionamento dei macchinari: è sufficiente ripristinare il corretto funzionamento dei macchinari per recuperare importanti *ore di manodopera* e *ore di mancata produzione*.
- Inefficienze legate alla mancata o errata formazione degli operatori: è difficile stimare le perdite in termini di *ore di manodopera* e *ore di mancata produzione*.
- Criticità che implicano condizioni lavorative sfavorevoli: è difficile stimare le perdite in termini di *ore di manodopera* e *ore di mancata produzione*.

Le restanti azioni correttive verranno illustrate in maniera minuziosa nei paragrafi successivi.

7.1 Errore di posizionamento dei coperchi

In tutte le categorie di prodotto che vengono assemblate, il posizionamento del coperchio sulla vaschetta avviene tramite un task manuale. Se il coperchio non viene posizionato correttamente, si causano microfermate sulla macchina dedicata all'aggraffatura di coperchio e vaschetta. A seguito dell'analisi 4M, sono state stimate microfermate di 2 minuti ogni 40 minuti. Di conseguenza, ogni qualvolta la linea L450 lavora su un intero turno, si riscontrano $0,4 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}$ di mancata produzione.

Poiché al variare del mix-produttivo, l'unica variabile che inficia su questo fenomeno è rappresentata dall'altezza della vaschetta, è possibile recuperare questa inefficienza installando delle guide regolabili in altezza a monte della macchina che esegue il processo di aggraffatura. In questo modo, è stato individuato un metodo per evitare facilmente l'errore.

Si nota immediatamente che prima di intraprendere quest'azione correttiva, in questa stazione del processo di assemblaggio non erano previste tecniche dedicate all'immediata correzione degli errori, dunque non vi era nessun concetto di Poka-Yoke.

L'azione correttiva che è stata eseguita ha superato tutte le fasi del piano d'azione (Plan, Do, Check, Act) poiché è stato constatato il miglioramento ottenuto.

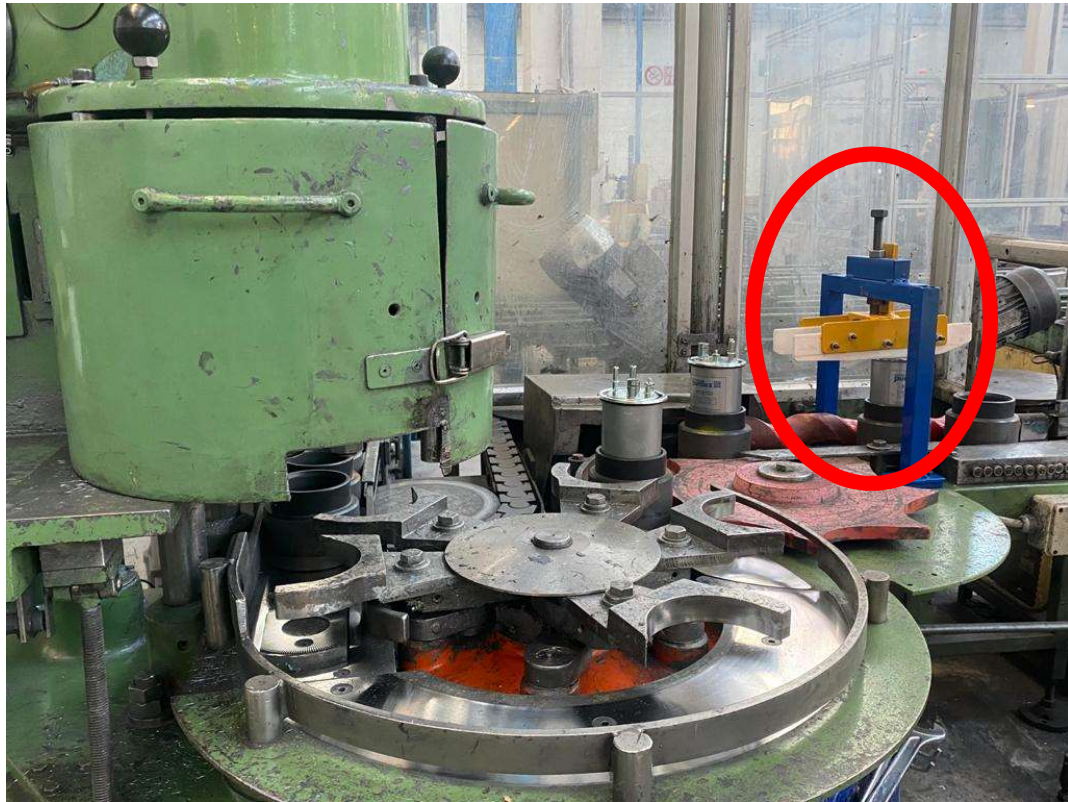


Figura 7.1: Guide regolabili in altezza

7.2 Errore di mancata Traceability

La tracciabilità e la rintracciabilità sono due elementi essenziali in molti settori industriali. Per tracciabilità si intende quel processo volto a tenere traccia di tutti gli elementi in ingresso che vanno a creare, modificare o trasformare un prodotto, sia alimentare, chimico, industriale o logistico.

Per rintracciabilità si intende il processo che torna indietro nella catena di produzione di un prodotto, al fine di ricercare un preciso evento o un'azione.

I due processi seguono la logica di una raccolta ordinata di informazioni durante precisi processi che portano alla realizzazione del prodotto. Questi processi consentono di verificare ed identificare anche a ritroso ogni singola azione effettuata. La tracciabilità è, in sostanza, un processo di comunicazione e di archiviazione dati che parte dalle materie prime, dai semilavorati e dalle risorse, attraverso il processo produttivo, fino ad arrivare al prodotto finito. Mentre la rintracciabilità fa il percorso inverso.

Il processo produttivo che avviene sulla linea L450 prevede l'utilizzo di una marcatrice laser immediatamente a valle del processo di aggraffatura. Tale macchinario ha il compito di tracciare ogni singolo pezzo mentre viene prodotto. In questo modo, ogni filtro presenta un'etichetta che ha lo scopo di identificare l'origine del prodotto. Su tutti i prodotti dunque, vengono riportate le seguenti informazioni:

- lo stabilimento Sogefi in cui il prodotto finito è stato realizzato;
- il giorno in cui il prodotto finito è stato realizzato;
- l'orario in cui il prodotto finito è stato realizzato.

Quindi, è evidente che in qualsiasi azienda, la tracciabilità industriale rappresenta una necessità inevitabile. Essa, infatti, costituisce un importante strumento di competitività, poiché è in grado di condizionare in maniera positiva la razionalizzazione dei sistemi produttivi. Stando alla definizione della normativa ISO 8402, con il termine tracciabilità si intende la possibilità di risalire alla localizzazione, all'uso e alla storia di un prodotto attraverso delle identificazioni registrate. Al di là del linguaggio degli standard internazionali, si può comunque pensare che la traceability sia la capacità di seguire l'impiego e di ricostruire la storia di un prodotto: ciò avviene attraverso una corretta identificazione delle varie fasi di produzione, e successivamente di trasformazione e di distribuzione, della merce. Tutte le identificazioni devono essere documentate, sia in relazione agli operatori della filiera che in relazione ai flussi materiali.

Durante i mesi in cui è stata accuratamente svolta l'analisi 4M sulla linea presa in oggetto, è stato notato che nel processo di assemblaggio vi era mancanza di *Jidoka* e di *Poka-Yoke* dopo l'aggraffatura di vaschetta e coperchio. Infatti nel momento in cui la macchina dedicata alla traceability risultava essere in allarme per mancanza di inchiostro, il nastro trasportatore continuava a far scorrere i pezzi verso la fase di packaging.

Quindi, a seguito del malfunzionamento, il macchinario si deve fermare in automatico e i singoli operatori devono immediatamente correggere il problema, interrompendo il flusso produttivo.

Per risolvere questa problematica, è stato necessario interfacciare la marcatrice laser con il motore elettrico del nastro trasportatore facendo uso di un PLC programmabile.

L'azione correttiva è stata approvata dal Management ed è diventata un nuovo standard del processo di assemblaggio.

7.3 Bilanciamento della linea di assemblaggio

Trovandosi di fronte all'esigenza di produrre un determinato oggetto, che necessita a tal fine di un numero e di una sequenza noti di operazioni (tasks) da svolgere, sorge la necessità di individuare, tra i tanti possibili, il più rapido ed efficace modo di organizzazione del processo e delle risorse. Spesso, in ambito industriale, si organizza la produzione, con particolare riferimento al processo di montaggio, necessario se l'oggetto è costituito da più parti elementari, lungo linee di assemblaggio.

Per effettuare il corretto bilanciamento di una linea produttiva bisogna fare in modo che ogni stazione e ogni persona lavori allo stesso ritmo, evitando scorte intermedie e generando fluidità dall'entrata delle materie prime fino al prodotto finito. È facilmente comprensibile che se una stazione lavora con velocità doppia rispetto alle altre, per metà del tempo resterà in attesa del lavoro della fase precedente mentre produrrà a scorte per la fase successiva generando spreco in entrambi i casi. L'obiettivo del bilanciamento è quello di minimizzare il tempo di ozio totale delle stazioni ponderando il contenuto di lavoro su un periodo di tempo costante.

Gli Assembly Line Balancing Problems (ALBP) consentono il raggiungimento del corretto bilanciamento della linea e sono suddivisi in due categorie: ALBP I e ALBP II. Nel primo caso si conoscono a priori: il tempo ciclo, i tempi di esecuzione dei singoli task e i vincoli di precedenza. L'obiettivo è quello di minimizzare il numero di stazioni necessarie al processo. Questo problema si affronta tipicamente quando è necessario installare una nuova linea di assemblaggio in modo da soddisfare una certa produttività obiettivo con il numero minimo di stazioni. Nel caso di ALBP II, la linea di assemblaggio

esiste già e di conseguenza si conosce il numero di postazioni. In questa casistica, l'obiettivo consiste nel minimizzare il tempo ciclo utilizzando il minor numero di operatori. Nel caso oggetto di studio verrà esaminato un problema di tipo II.

In ogni caso, qualsiasi sia il tipo di ALBP, bisogna assegnare tutte le attività alle stazioni rispettando ogni vincolo di precedenza e ogni restrizione. Esistono dei metodi euristici per l'assegnazione delle attività alle stazioni. Alla base di questi metodi vi è l'idea di assegnare i task alle stazioni basandosi su un punteggio numerico. Per effettuare ciò, le attività assegnate alla stazione individuano il carico di lavoro, ovvero il tempo cumulato di esecuzione di tutti i task nella stazione. Un bilanciamento è fattibile solo se, dato un tempo ciclo, il tempo di nessuna stazione lo eccede.

Nel momento in cui si affrontano queste tematiche bisogna rispettare i seguenti vincoli:

- ogni task deve essere assegnato ad una e una sola stazione;
- la somma dei tempi dei task assegnati a ogni stazione non deve superare il tempo ciclo;
- le relazioni di precedenza tra i task non devono essere violate.

Nel caso di studio preso in considerazione, la linea di assemblaggio è semiautomatica; dunque esistono stazioni automatiche in cui le fasi di assemblaggio vengono gestite dai macchinari e stazioni manuali in cui invece è necessario l'ausilio di almeno un operatore per garantire il corretto assemblaggio dei prodotti. L'obiettivo consiste, al variare del mix produttivo, nell'assicurare la massima velocità oraria di produzione minimizzando il numero di persone necessarie al processo. La massima velocità oraria di produzione verrà individuata analizzando la produttività di tutte le macchine automatiche. Per ogni categoria di prodotto bisogna individuare la macchina che presenta il minor valore di velocità oraria. Agendo in questa direzione si comprende facilmente quale deve essere la velocità della linea di assemblaggio.

Se l'assemblaggio è disposto in linea e deve essere eseguito da persone (risorse umane), un certo bene impiega, per attraversare l'intera linea, al minimo un determinato tempo, detto *lead time teorico*, L_0 , che è la somma dei tempi necessari all'esecuzione di tutte le operazioni di assemblaggio. Nota la quantità di beni da produrre in un certo periodo temporale, se il tempo a disposizione, al fine di soddisfare la richiesta, per produrne uno, è inferiore a L_0 , si divide la linea in più postazioni, che richiedono sì più operatori e

strumenti (maggiori investimenti in risorse, umane e non), ma permettono di lavorare contemporaneamente più beni sulla stessa linea.

Se questa è suddivisa in n stazioni, il caso ideale prevede che ogni postazione possa completare il proprio compito al massimo nel tempo L_0/n , che è il tempo teorico intercorrente tra l'uscita dalla linea, cioè il completamento, di due prodotti consecutivi; esso, detto *tempo ciclo* o *takt time*, T , è determinato dalla cadenza $q = 1/T$, la frequenza di completamento dei prodotti, uno dei parametri di progetto fondamentale.

Occorre che la sommatoria dei tempi di esecuzione dei tasks assegnati ad una stazione, il tempo di postazione, *station time*; coincida con il tempo ciclo. Sfortunatamente, per la diversità di durata delle operazioni da svolgere, amplificata nel caso si tratti di una linea a forte componente manuale, non si riesce in genere nella pratica a raggiungere la perfetta uguaglianza tra *station times* e *takt time*. Alcune stazioni dovranno quindi svolgere una sequenza di tasks che mediamente richiede più tempo della sequenza di tasks di altre stazioni, dovendo comunque il *lead time* (effettivo) di attraversamento, L , essere maggiore o uguale a quello teorico: le prime si troveranno perciò ad essere sovraccaricate, costituendo dei colli di bottiglia del processo; le altre, sottocaricate, esauriranno in anticipo il loro compito ed il prodotto dovrà attendere.

Il tempo di uscita effettivo del prodotto dalla linea, T_u , è in pratica corrispondente al maggiore tra le *station times*, quindi maggiore del *takt time*, il che decrementa la cadenza. Se si definisce il coefficiente di utilizzazione di una risorsa, U , come il rapporto tra il tempo in cui effettivamente essa lavora e quello in cui è disponibile a farlo, segue che U sarebbe unitario per tutte nel caso ideale, diminuendo, nella realtà, per le risorse assegnate alle stazioni sottocaricate.

I parametri fondamentali delle linee di assemblaggio manuali sono, quindi, i seguenti:

- *Lead time di attraversamento*: L [ore/pezzo] Tempo tra l'entrata e l'uscita del prodotto dalla linea;
- *Lead time teorico*: L_0 [ore/pezzo] Somma di tutti i tempi delle singole operazioni;
- *Numero di postazioni*: n ;
- *Cadenza*: q [pezzi/ore] Capacità produttiva teorica della linea;
- *Tempo ciclo o Takt time*: $T = 1/q = L_0/n$ [ore/pezzo] Tempo a disposizione dell'operatore per completare tutte le operazioni assegnate alla sua stazione;

- *Tempo di uscita: T_u [ore/pezzo]* Tempo impiegato a completare un prodotto dalla stazione più lenta e tempo tra il completamento di due prodotti consecutivi;
- *Cadenza effettiva: $q^* = 1/T_u$ [pezzi/ore]* ;
- *Coefficiente di utilizzazione di una risorsa: $U = \text{tempo di attività} / \text{tempo di disponibilità}$.*

I criteri di bilanciamento si distinguono in:

- Bilanciamento sui contenuti di lavoro (bilanciamento in senso classico);
- Bilanciamento sul numero di risorse;
- Bilanciamento sulla schedulazione.

Nel bilanciamento sui contenuti di lavoro, noti i tempi di esecuzione dei *tasks* e il *takt time*, fissato il numero di postazioni, e noti i vincoli sia di precedenza tecnologica, sia di layout di linea, si assegna a ogni codice di prodotto la distribuzione delle operazioni alle postazioni, compatibilmente con i vincoli, in modo da minimizzare il tempo d'uscita.

Nel bilanciamento sul numero di risorse, fissate le operazioni da eseguire in ogni postazione, se la linea è ad assemblaggio manuale si può variare il numero di operatori da assegnare alle postazioni rispetto al classico uno per stazione; ciò può avvenire in rialzo, così da avere, se i vincoli di processo lo consentono, più operatori in parallelo sulle stazioni più caricate e abbassarne lo *station time* a livello del *takt time*, oppure, ma solo se la linea può lavorare non a pieno regime, in ribasso, così da assegnare allo stesso uomo stazioni i cui tempi sommati, si avvicinino al *takt time* se si uniscono le più veloci, altrimenti a multipli del *takt time*.

Variando al ribasso il numero di operatori, ovviamente non si riesce a diminuire il tempo d'uscita, per cui il confronto con il caso originale non va incentrato sulle quantità prodotte in un certo tempo, ma, a parità di prodotti, sull'efficienza di produzione, migliorata dai coefficienti di utilizzazione delle risorse.

Nel bilanciamento sulla schedulazione, fissato il numero di operatori e il contenuto di lavoro di ciascuna stazione si studia il piano di produzione e si creano lotti di prodotti da mandare in linea consecutivamente in modo che, per ogni postazione, la somma degli *station times* per quella postazione all'interno di un lotto si avvicini al *takt time* moltiplicato per il numero di prodotti di cui quel lotto è costituito.

Si può decidere di far lavorare alcuni operatori in un primo momento in parallelo su una postazione per tutto un lotto, poi su quella successiva (per un lotto costituito da N prodotti, l'operatore addetto alla stazione j va a coadiuvare l'operatore addetto alla stazione $j-1$, finchè non sono stati eseguiti tutti i tasks di postazione $j-1$ per gli N prodotti; poi l'operatore j e il $j-1$ si spostano a lavorare insieme gli N prodotti in postazione j , li mandano tutti alla postazione $j+1$, e ricominciano il ciclo). Questo comporta la necessità di *buffers* interoperazionali, ovvero piccole zone polmone di disaccoppiamento tra le postazioni per accumulare i semilavorati in uscita da una, prima che vadano alla successiva.

Per quanto riguarda la ricerca in tale ambito, essa è spesso approdata a soluzioni del problema che, in seguito a ipotesi restrittive e semplificative, conducono troppo lontano dalla realtà: in particolare, l'ipotesi di sistema deterministico, cioè con tempi di esecuzione delle operazioni fissati e invariabili, è insufficiente per una corretta descrizione dei sistemi reali, che presentano una variabilità stocastica dei tempi nella ripetizione di vari cicli di lavoro.

Recentemente, è stato svolto molto lavoro per descrivere e risolvere problemi più generalizzati e realistici, (generalized assembly line balancing problem, GALBP).

Sono numerose le complicazioni da introdurre nello sviluppo di efficaci algoritmi per la modellazione di sistemi reali, tra cui appunto l'aleatorietà dei tempi necessari ai *tasks*.

Un approccio euristico a riguardo è quello noto come metodo di *Kottas Lau*. Tale metodo tratta l'assegnazione alle stazioni delle operazioni da svolgere, e si applica, quindi, ai bilanciamenti sui contenuti di lavoro.

7.3.1 Metodo di Kottas Lau

Se un operatore non riesce a completare le azioni assegnategli nel tempo ciclo, è possibile o dilatare il valore del tempo ciclo ritardando tutta la linea, oppure in molti casi in cui obbligatoriamente si deve rispettare la cadenza, il completamento può avvenire fuori linea, con costi aggiuntivi. Per il secondo caso è necessario un metodo che tenga conto di ciò, implicitamente considerando la variabilità stocastica dei tempi, ed il rischio accettato di incorrere, pertanto, nello sfioramento del takt time.

Il metodo Kottas Lau si applica per il bilanciamento di una linea di assemblaggio manuale a prodotto singolo e tempi stocastici. In questo lavoro di tesi verranno proposti tre bilanciamenti poiché si considerano tre categorie di prodotto.

Il metodo si basa sul fatto che, al diminuire del numero di operatori, cala il costo unitario del prodotto, ma aumenta il carico di lavoro per operatore, e con esso, a tempo ciclo fissato, la probabilità che egli non riesca a rispettare i tempi, e si generino quindi costi di mancato completamento.

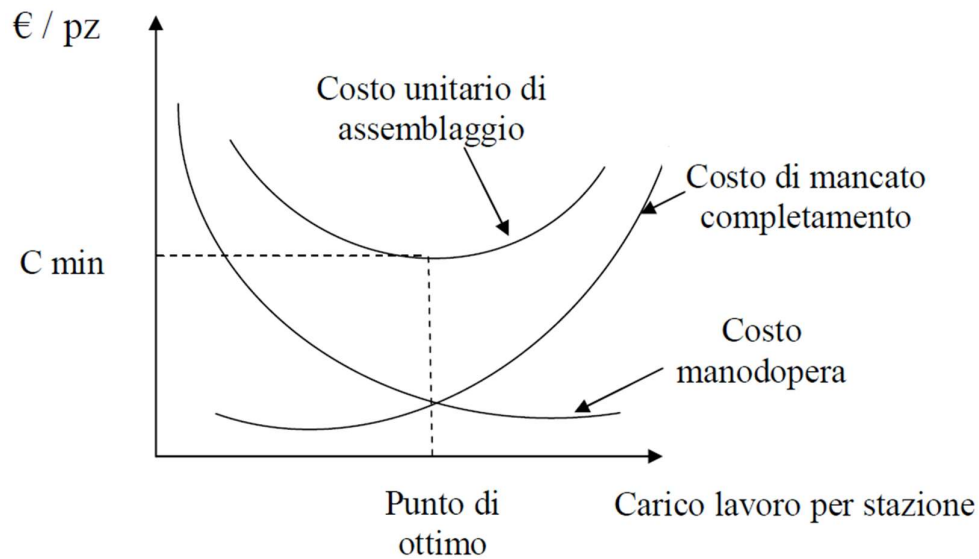


Figura 7.2: Andamento delle funzioni di costo al variare del carico di lavoro

Occorrono alcune ipotesi semplificative:

- Il tempo ciclo e i vincoli di precedenza tra un'operazione e un'altra costituiscono gli unici vincoli per l'assegnazione dei compiti.
- Ciascun operatore è retribuito nella stessa misura, indipendentemente dalla mansione.
- Un'operazione può essere iniziata solo se tutte le operazioni con vincoli di precedenza sono state completate.
- Il tempo di completamento di ogni operazione è considerato aleatorio e caratterizzato da una distribuzione normale di probabilità di cui si possono calcolare il valore medio M_k e la deviazione standard σ_k ; la durata di ciascuna

operazione è indipendente da quelle delle altre operazioni e dall'ordine con cui esse sono eseguite.

- Se un'operazione è incompleta, continua a viaggiare in linea e vengono eseguiti tutti i successivi tasks comunque completabili; le operazioni incomplete verranno poi completate fuori linea; il costo I'_k di completamento fuori linea della K-esima operazione non dipende dalla percentuale in cui è stata precedentemente completata in linea.

Si devono stabilire o misurare i seguenti parametri:

- Tempo ciclo della linea (takt time): $T = l/q$ [min];
- Costo orario del lavoro: C [€/ore];
- Valor medio e deviazione standard della durata della K-esima operazione: M_k, σ_k ;
- Costo totale di mancato completamento, dovuto all'operazione K-esima, della K-esima stessa e di tutte le successive che necessitano di essa: $I_k = \sum_{k=1}^n I'_k$;
- Numero di operazioni immediatamente successive alla generica operazione: v ;
- Costo manodopera per l'esecuzione dell'operazione K-esima: $M_k C/60$.

Il metodo si basa sulla definizione di:

- Operazioni desiderabili;
- Operazioni sicure;
- Operazioni critiche.

Al fine di definire tali tipologie, vengono svolte le seguenti considerazioni.

Se la durata delle operazioni è una variabile aleatoria con distribuzione normale, con $p(t)$ funzione densità di probabilità, si definiscono la funzione di distribuzione $F(t)$ e la funzione $P(t)$:

$$F(t) = \int_0^{t'} p(\tau) d\tau$$

$$P(t) = \int_{t'}^{\infty} p(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} p(\tau) d\tau - \int_0^{t'} p(\tau) d\tau = 1 - F(t)$$

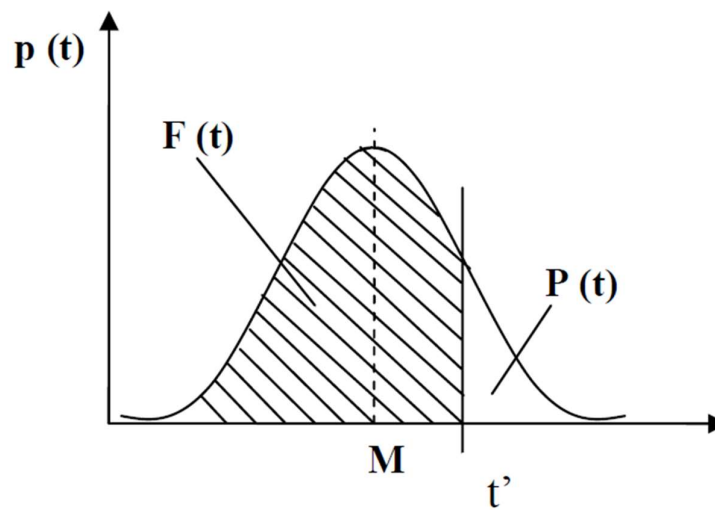


Figura 7.3: Funzioni di probabilità

- $F(t)$: Probabilità che l'operazione abbia durata $t < t'$, cioè che sia ultimata nel tempo previsto.
- $P(t)$: Probabilità che l'operazione abbia durata $t > t'$, cioè che al tempo t' non sia ancora ultimata.
- Per centrare la campana nell'origine, si definisce la variabile normalizzata $z = (t-M)/\sigma$; $F(z)$ assume valori tabulati.

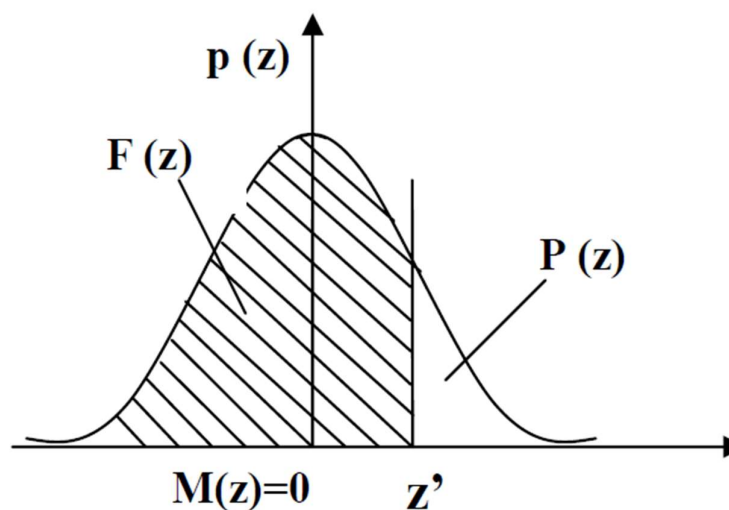


Figura 7.4: Funzioni di probabilità normalizzate

Se alla stazione sono assegnate operazioni con vincoli di precedenza, occorre considerare l'aleatorietà di tutte le operazioni precedenti, dato che la K-esima operazione non può essere completata se non lo sono state quelle che la precedono nel diagramma delle precedenze.

Si introduce così la variabile normalizzata

$$z_k = \frac{T - \sum_j M_j}{\sqrt{\sum_j 6_j^2}}$$

Essendo j la generica operazione assegnata alla stazione considerata ($j = 1, 2, \dots, n$).

La condizione di desiderabilità marginale della K-esima operazione è la seguente:

- se $L_k \geq P_k I_k$, è marginalmente desiderabile assegnare l'operazione K alla stazione già aperta.

Si definiscono:

- Probabilità che tutte le operazioni assegnate alla stazione, compresa la K-esima, siano ultimate entro il tempo ciclo: $F(z_k) = F_k$;
- Probabilità di mancato completamento della K-esima operazione entro il tempo ciclo: $P(z_k) = P_k = 1 - F(z_k)$.

Sviluppando la condizione di desiderabilità marginale, si ottiene:

$$F_k \geq 1 - \frac{L_k}{I_k}$$

Quindi,

$$F(z_k^*) = 1 - \frac{L_k}{I_k}$$

Dove z_k^* è il valore di soglia per la desiderabilità dell'operazione, e si ricava da tabella.

Si perviene, infine, alla condizione di desiderabilità della K-esima operazione nell'assegnazione alla stazione in esame:

- se $z_k \geq z_k^*$, è desiderabile assegnare l'operazione K alla stazione già aperta.

In conclusione un'operazione disponibile all'assegnazione è:

- Desiderabile se $z_k \geq z_k^*$;
- Sicura se $z_k \geq z_{k=2,575}^*$ ($F_k \geq 0,995$).
- Critica se non desiderabile anche quando assegnata ad una stazione vuota.

7.3.2 La misurazione dei tempi

Nel momento in cui bisogna definire il tempo di esecuzione di un task è necessario effettuare dei rilievi cronometrici. Essi vengono realizzati osservando l'operazione da tempificare direttamente nella postazione di lavoro.

Il metodo consiste quindi, nel rilevare più volte il tempo necessario per l'esecuzione di un'attività. Il rilievo è fatto dall'analista tempi e metodi che si avvale di strumenti quali: il foglio di rilievo tempi, il cronometro oppure una videocamera, dove oltre alla visualizzazione delle operazioni indirettamente cronometra il tempo delle stesse.

Misurando più volte il tempo necessario per lo svolgimento della stessa attività si nota che il suo valore cambia da operatore a operatore e addirittura cambia con lo stesso operatore, quando ripete più volte la stessa attività.

Da queste considerazioni nasce il concetto di efficienza, ovvero: l'abilità, la prontezza, la sicurezza con cui l'operatore esegue i movimenti o più in generale svolge le attività che gli vengono assegnate. Tenendo, quindi, conto dell'efficienza possiamo dire che il tempo necessario a compiere una determinata attività "t" è tanto più piccolo quanto maggiore è l'efficienza "E" con cui viene svolta.

La seguente formula ne traduce analiticamente il concetto:

$$t \cdot E = cost$$

Valutare l'efficienza è un compito dell'analista dei tempi che deve conoscere, per l'attività in considerazione, tutti i movimenti necessari per eseguirla senza incertezze e senza la minima perdita di tempo, ovvero per eseguirla con un'efficienza massima " E_{max} ".

Avendo in mente l'efficienza massima si può esprimere l'efficienza con cui un operatore svolge un'attività. Durante l'attività normale e continuativa, l'operatore deve svolgere le sue attività con efficienza normale " E_n ".

Dalla formula prima enunciata, $t \cdot E = cost$, possiamo scrivere indicando con “ t_N ” il tempo per svolgere un’attività con efficienza “ E_N ”:

$$t_N \cdot E_N = t_{min} \cdot E_{MAX}.$$

Infatti, quando l’efficienza è massima il tempo per eseguirla è minimo.

Ai tempi necessari per svolgere determinate attività è necessario aggiungere delle maggiorazioni, in particolare:

- La Maggiorazione per affaticamento, che tiene conto del tipo e della condizione della mansione lavorativa (fattore di riposo o FR);
- La Maggiorazione fisiologica, che tiene conto delle necessità fisiologiche (fattore fisiologico o FF).

Oltre queste maggiorazioni bisogna tenere conto anche del tempo speso per il mantenimento dell’ordine e della pulizia del posto di lavoro, concetto alla base della metodologia TPM. In alcuni casi, nelle realtà produttive, si preferisce assegnare un tempo fisso, solitamente a fine turno per svolgere tale attività.

7.3.3 Situazione iniziale della linea L450

In questo paragrafo si intende analizzare le maggiori inefficienze legate all’errato bilanciamento della linea L450. Innanzitutto è stato osservato che durante l’assemblaggio dei filtri avvitati e dei filtri a tubetti, il processo di lavorazione veniva suddiviso in due parti. Quindi durante un turno di produzione, gli operatori effettuavano in maniera alternata due cicli di assemblaggio su un’unica linea. Il motivo che ha spinto gli operatori ad agire in questo modo deriva da un’errata gestione dei cicli di produzione. Infatti, nel corso degli anni, la linea di assemblaggio ha subito molte modifiche a causa della sostituzione di alcuni macchinari e attrezzature. Le modifiche hanno ovviamente generato delle variazioni nei processi di lavorazione. Nonostante ciò, i cicli di produzione (i quali riportano la velocità oraria della linea e il numero di persone necessarie per realizzare un determinato prodotto) non sono mai stati aggiornati. A causa di questi errori, il numero di operatori necessari per realizzare il processo di assemblaggio risulta superiore rispetto all’effettivo numero di persone necessarie per condurre l’impianto al variare delle categorie di prodotto. Pertanto, gli operatori sulla linea erano sempre in numero inferiore

rispetto al numero di persone riportato sullo standard aziendale. Nel paragrafo successivo verrà analizzato il corretto bilanciamento del personale al variare del mix produttivo.

Nel caso di **filtro avvitato**, il processo di assemblaggio veniva svolto nel seguente modo:

Prima parte:

1. assemblaggio manuale di vaschetta, fondello e corpo filtrante;
2. erogazione automatica della colla;
3. posizionamento manuale del coperchio;
4. aggraffatura automatica di vaschetta e coperchio;
5. posizionamento automatico della guarnizione;
6. spostamento manuale dei pezzi dal nastro trasportatore verso una pedana esterna alla linea.

Seconda parte:

1. spostamento manuale dei pezzi dalla pedana esterna alla linea verso il nastro trasportatore;
2. prova di tenuta su macchina di collaudo;
3. inserimento automatico del tappo di protezione;
4. packaging manuale;
5. fardellatrice automatica;
6. scarico dei prodotti finiti.

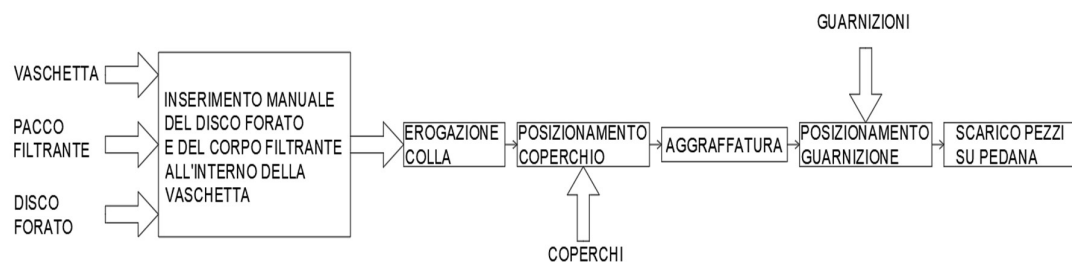


Figura 7.5: Prima parte del processo di assemblaggio dei filtri avvitati



Figura 7.6: Seconda parte del processo di assemblaggio dei filtri avvitati

Nel caso di **filtro a tubetti** invece, il processo di assemblaggio veniva svolto nel seguente modo:

Prima parte:

1. assemblaggio manuale di vaschetta, fondello e corpo filtrante;
2. erogazione automatica della colla;
3. posizionamento manuale della guarnizione interna;
4. posizionamento manuale del coperchio;
5. aggraffatura automatica di vaschetta e coperchio;
6. spostamento manuale dei pezzi dal nastro trasportatore verso una pedana esterna alla linea.

Seconda parte:

1. spostamento manuale dei pezzi dalla pedana esterna alla linea verso il nastro trasportatore;
2. prova di tenuta in acqua effettuata a campione;
3. packaging manuale;
4. fardellatrice automatica;
5. scarico dei prodotti finiti.

In questo caso, il collaudo viene fatto a campione su un apposito banco prova poiché sulla linea non esiste un macchinario in grado di collaudare questa categoria di prodotti.



Figura 7.7: Prima parte del processo di assemblaggio dei filtri a tubetti

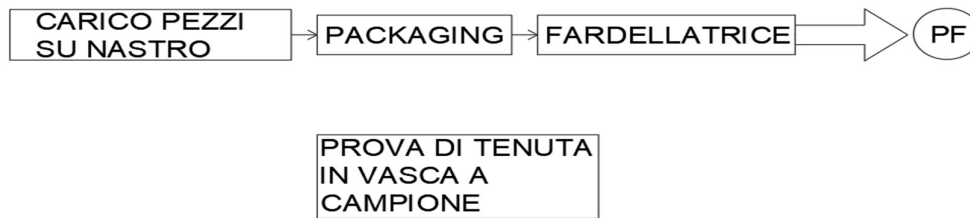


Figura 7.8: Seconda parte del processo di assemblaggio dei filtri a tubetti

Analizzando questi schemi si comprende immediatamente che lavorando in modo disaccoppiato sulla stessa linea di assemblaggio si incorre sicuramente in perdite di efficienza dal momento che sarà necessario un operatore dedicato allo scarico dei pezzi nella prima parte, e al successivo carico dei pezzi quando si lavora nella seconda parte della linea. Questa non è l'unica perdita di efficienza della linea, in quanto gli operatori effettuavano più di uno spostamento in un turno di lavoro.

Analizzando i dati di un software (SHERPA) che monitora la produzione, si è notato che mediamente gli operatori tendevano a spostarsi sulla linea 3 volte in ogni turno di produzione. Per effettuare lo spostamento venivano persi all'incirca 5 minuti.

Di conseguenza, questo modo di eseguire l'assemblaggio causa una perdita di mancata produzione di $0,25 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}$. Inoltre, si utilizza una persona addetta allo scarico (e successivamente al carico) dei pezzi che non è prevista secondo lo standard; di conseguenza la perdita di manodopera associata è pari a $8 \frac{\text{ore}}{\text{turno}}$.

Questo modo di lavorare non coinvolge la categoria di prodotto del filtro ONE in quanto quest'ultimo presenta un elemento filtrante completamente diverso rispetto alle altre categorie. L'assemblaggio di questi prodotti sulla linea L450 parte direttamente dal processo di aggraffatura automatica di vaschetta e coperchio. Infatti tutte le fasi precedenti avvengono manualmente su un'altra postazione di lavoro (chiamata L450B).



Figura 7.9: Processo di assemblaggio del filtro ONE sulla linea L450

Gli schemi riportati nelle Fig. 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 prendono il nome di diagrammi delle precedenze: i blocchi rappresentano le operazioni che costituiscono l'assemblaggio, le frecce i rapporti logici di necessità. I diagrammi delle precedenze fungono da vincoli in un bilanciamento di linea.

7.3.4 Azioni correttive sulla linea L450

Dopo aver analizzato i problemi di errato bilanciamento della linea di assemblaggio presa in esame, è stato proposto un bilanciamento per ogni categoria di prodotto tenendo conto degli accorgimenti citati nei paragrafi precedenti. A tal fine verranno proposti dei diagrammi delle precedenze che riportano il vero layout delle stazioni della linea. Si considera il caso in cui tutte le macchine automatiche che presentavano malfunzionamenti e guasti siano state ripristinate a seguito delle segnalazioni effettuate nel PDCA.

Su alcune stazioni vengono riportati dei dati relativi alle velocità orarie delle stazioni automatiche. Lo scopo è quello di garantire la massima velocità della linea ottimizzando il numero di risorse umane.

Nel caso del **FILTRO AVVITATO**, il layout della linea è il seguente:

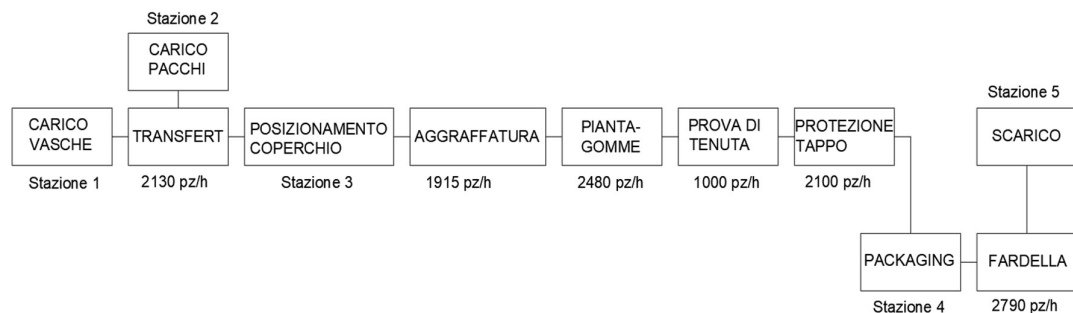


Figura 7.10: Layout della linea L450 per la produzione dei filtri avvitati

La velocità della linea viene stabilita osservando la stazione più lenta. Dunque:

Velocità della linea: $v = 1000 \text{ pz/h}$

Tempo ciclo: $TC = 3,6 \text{ s}$

TASK MANUALI:

Stazione 1) Carico vasche: $\frac{2 \text{ pz}}{4 \text{ s}}$ $tc_1 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 2) Carico pacchi: $\frac{2 \text{ pz}}{4 \text{ s}}$ $tc_2 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 3) Posizionamento coperchio: $\frac{1 \text{ pz}}{2 \text{ s}}$ $tc_3 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 4) Packaging:

Stazione 4.1) Apertura scatola: $tc_{4,1} = 3 \text{ s} < TC$

Stazione 4.2) Inserimento pezzo in scatola: $tc_{4,2} = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 4.3) Chiusura scatola: $tc_{4,3} = 3 \text{ s} < TC$

Stazione 5) Scarico: Velocità linea = $\frac{1000 \text{ pz}}{8 \text{ h}} = 125 \frac{\text{pz}}{\text{h}} \rightarrow TC' = 28,8 \text{ s}$

tempo di scarico manuale: $tc_5 = 8 \text{ s} < TC'$

N°operatori = 7+Teamleader

I tempi ciclo dei singoli tasks sono stati misurati in condizioni di fermo linea simulando le singole stazioni manuali. Dopo aver effettuato le misurazioni, il tempo di esecuzione del singolo task è stato maggiorato rispetto al valor medio per essere sicuri che secondo il metodo Kottas Lau, la probabilità di completamento dell'attività sia del 95%.

Si osserva che nel momento in cui i pezzi passano attraverso la fardella automatica, vengono agglomerati in fardelli contenenti 8 pezzi. Di conseguenza, l'operatore che si trova allo scarico della fardella vede un tempo ciclo 8 volte superiore poiché deve movimentare dei fardelli e non dei singoli pezzi.

Inoltre, a causa del layout rettilineo della linea, un operatore non è in grado di svolgere tasks differenti su più stazioni rispettando il tempo ciclo. Dunque il numero di operatori necessari a condurre l'impianto è pari a 7.

In realtà, lo standard aziendale Sogefi, prevede l'utilizzo di un ulteriore operatore (*TeamLeader*) che ha il compito di garantire il flusso di materiale sulla linea durante l'intero turno di lavoro.

Nella Tabella 7.1 vengono riportati i cicli di filtro avvitato realizzati sulla linea L450. Si nota immediatamente che nonostante i codici appartengano alla stessa categoria di prodotto e seguono dunque lo stesso ciclo di lavorazione, presentano un diverso numero di operatori e una diversa produzione oraria (come spiegato nel paragrafo precedente).

Codice	pz/h	N°op
6111794540	800	17
6111819340	800	12
6114047120	1000	15
6114048810	900	11
6114063620	1100	17
6114065280	1300	10
6114255340	2069	11
6963015610	500	11
Z13000091	1200	12
Z13000110	500	15
Z13003337	1200	12
6114047270	1300	11
6114049890	1000	11
6114063460	2100	10
6114063480	1500	12
6964047280	900	11
FP-4935/AIVEMO.1	500	8
FP-4935/AMO.1	800	9
FP4712SAME	2069	10
FP4935/AINIVE	1300	10
FP4935/AREN2	1100	10
6114065390	1200	11
6114245430	1400	11
FP4935/AVM	1500	10

Tabella 7.1

Infine, per ogni stazione è stato calcolato il *livello di saturazione uomo* calcolato nel seguente modo:

$$S_i = \frac{tc_i}{TC}$$

Con i : i-esima stazione
manuale della linea L450

Nella Figura 7.11 viene riportato, in forma percentuale, il valore di S_i per ogni stazione.

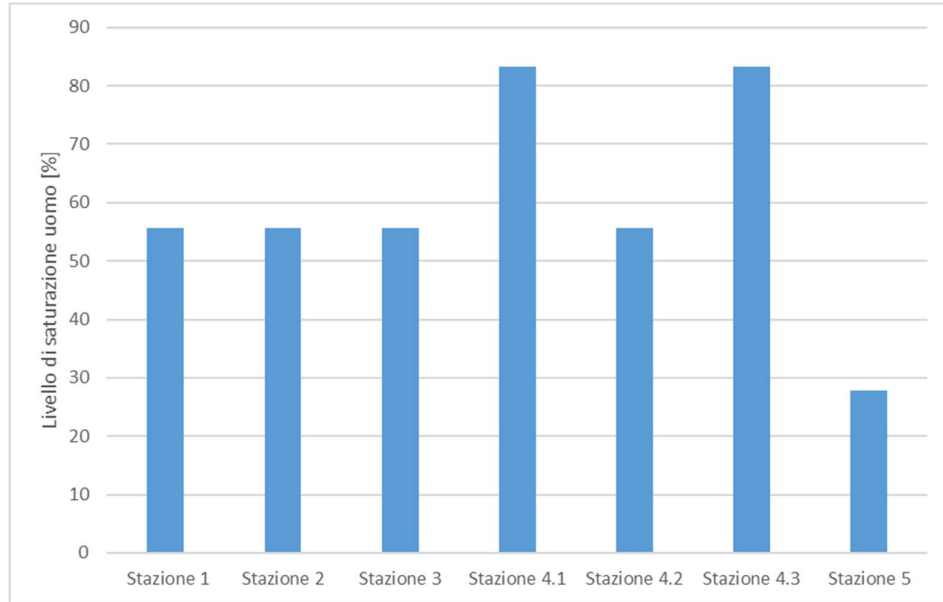


Figura 7.11: Livello di saturazione uomo nel caso di filtro avvitato

La stessa analisi è stata condotta per le restanti tipologie di prodotto.

Nel caso di FILTRO A TUBETTI, la linea presenta il seguente layout:

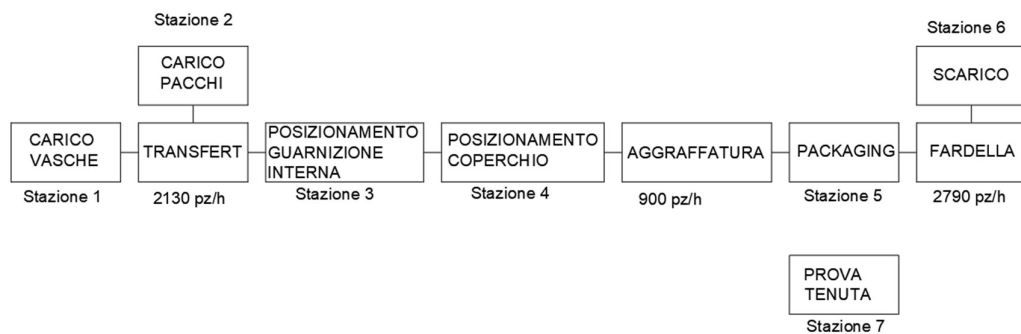


Figura 7.12: Layout della linea L450 per la produzione dei filtri a tubetti

Velocità della linea: $v = 900 \text{ pz/h}$

Tempo ciclo: $TC = 4 \text{ s}$

TASK MANUALI:

Stazione 1) Carico vasche: $\frac{2 \text{ pz}}{4 \text{ s}}$ $tc_1 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 2) Carico pacchi: $\frac{2 \text{ pz}}{4 \text{ s}}$ $tc_2 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 3) Guarnizione interna: $\frac{1 pz}{3 s}$ $tc_3 = 3 s < TC$

Stazione 4) Posizionamento coperchio: $\frac{1 pz}{2 s}$ $tc_4 = 2 s < TC$

Stazione 5) Packaging:

Stazione 5.1) Apertura scatola: $tc_{5,1} = 3 s < TC$

Stazione 5.2) Tappino trasparente: $tc_{5,2} = 2 s < TC$

Stazione 5.3) Cartoncino di protezione e pezzo in scatola: $tc_{5,3} = 3 s < TC$

Stazione 5.4) Chiusura scatola: $tc_{5,4} = 3 s < TC$

Stazione 6) Scarico: Velocità linea = $\frac{900 pz}{8 h} = 112,5 \frac{pz}{h} \rightarrow TC' = 32 s$

tempo di scarico manuale: $tc_6 = 8 s < TC'$

Stazione 7) Prova di tenuta in acqua: È necessario sempre un operatore saturo all'85% (limite imposto dalla Qualità).

N°operatori= 10+Teamleader

Il numero minimo di operatori necessari a condurre l'impianto per questa categoria di prodotto è pari a 10.

Nella Tabella 7.2 vengono riportati i cicli di filtro a tubetti realizzati sulla linea L450. Anche in questo caso si osserva che i codici appartengono alla stessa categoria di prodotto e seguono dunque lo stesso ciclo di lavorazione, presentano un diverso numero di operatori e una diversa produzione oraria.

Codice	pz/h	N°op
6114244890	800	14
6614054220	800	14
6614065230	800	14
6614325400	800	12
6963015630	700	11
6964054230	800	14
6114248870	800	10
6114259670	600	11
6611793040	600	12
6614065250	400	10
6114259240	600	11
6614001090	600	13
6614069750	800	11

Tabella 7.2

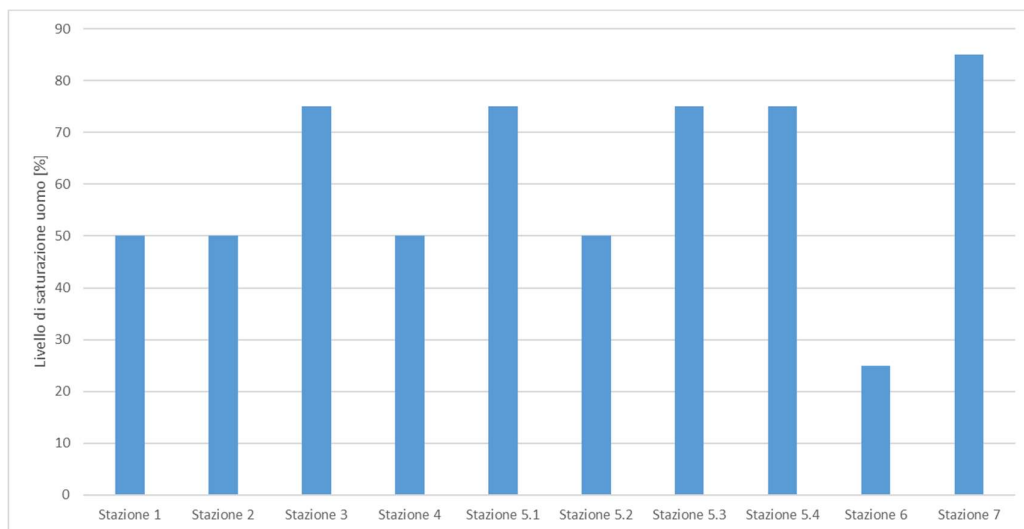


Figura 7.13: Livello di saturazione uomo nel caso di filtro a tubetti

Infine nel caso di **FILTRI ONE** si ha il seguente layout di linea:

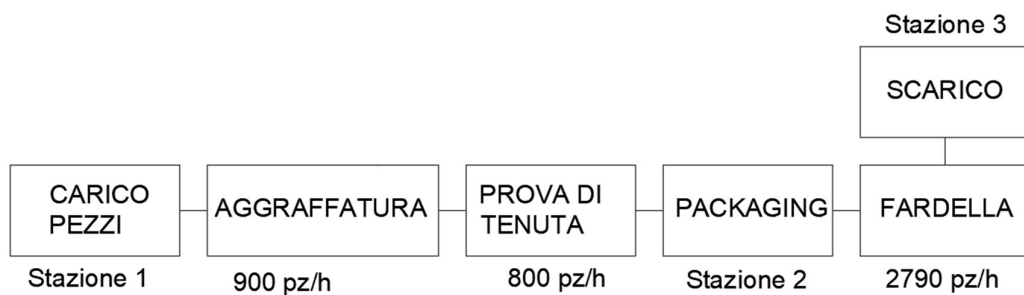


Figura 7.14: Layout della linea L450 per la produzione dei filtri one

Velocità della linea: $v = 800 \text{ pz/h}$

Tempo ciclo: $TC = 4,5 \text{ s}$

TASK MANUALI:

Stazione 1) Carico pezzi: $\frac{2 \text{ pz}}{4 \text{ s}}$ $tc_1 = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 2) Packaging:

Stazione 2.1) Apertura scatola: $tc_{2.1} = 3 \text{ s} < TC$

Stazione 2.2) Tappino giallo: $tc_{2.2} = 2 \text{ s} < TC$

Stazione 2.3) Cartoncino di protezione e pezzo in scatola: $tc_{2.3} = 3 \text{ s} < TC$

Stazione 2.4) Chiusura scatola: $tc_{2.4} = 3 \text{ s} < TC$

Stazione 3) Scarico: Velocità linea = $\frac{800 \text{ pz}}{8 \text{ h}} = 100 \frac{\text{pz}}{\text{h}} \rightarrow \text{TC}'=36 \text{ s}$

tempo di scarico manuale: $\text{tc}_3 = 8 \text{ s} < \text{TC}'$

N°operatori = 6+Teamleader

In quest'ultima categoria di prodotto sono state notate molte meno incongruenze nei cicli di produzione riportati sul database aziendale; infatti nella Tabella 7.3 il numero di persone necessarie a condurre l'impianto è pari a 6 (come è stato appena riscontrato).

In ogni caso, si nota che i valori sulla produttività oraria variano nonostante l'unica variabile nei codici è rappresentata dalla serigrafia del prodotto.

Codice	pz/h	N°op
6114257800	300	6
6114258920	500	6
6614231420	500	6
6614231430	500	6
6614231450	300	6
6614231460	800	6
6614232390	400	6
6614232400	600	6
6614241240	600	6
6614261260	500	6
6614261310	600	6
6614261450	300	6
6614322180	400	6
6964241230	600	6

Tabella 7.3

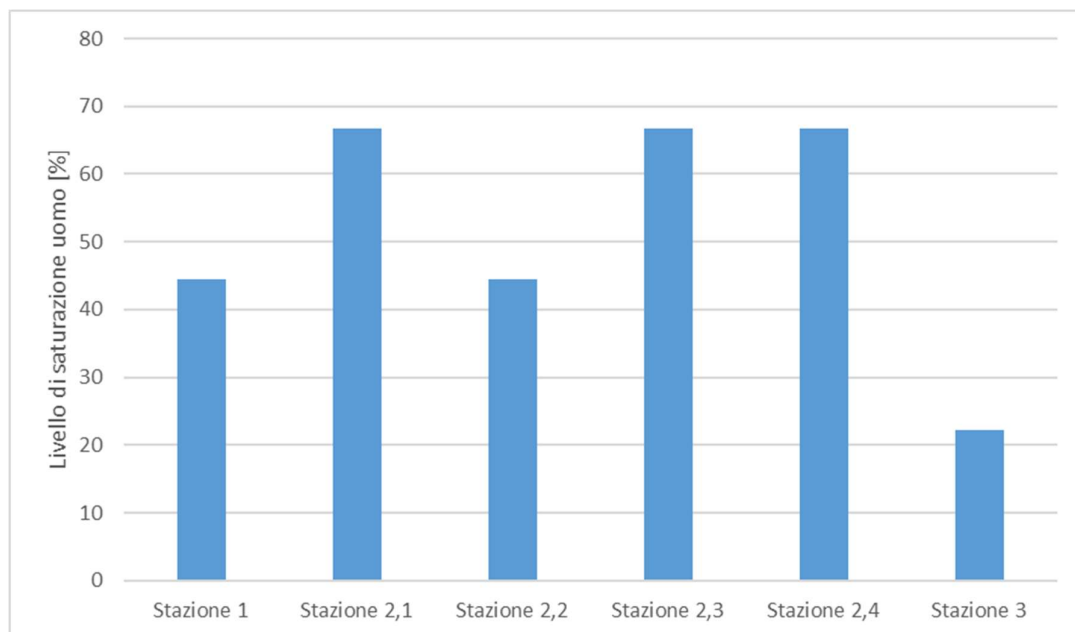


Figura 7.15: Livello di saturazione uomo nel caso di filtro one

I risultati ottenuti sono stati immediatamente trasformati nel nuovo standard aziendale dal momento che tutte le attività del piano d'azione (PDCA) che riportavano problematiche legate a un errato bilanciamento della linea sono state risolte.

8 MIGLIORAMENTO CONTINUO

I risultati ottenuti non possono costituire un punto di fine per quest'analisi. Di conseguenza, è necessario ricercare nuovi spunti di ulteriore miglioramento. In questo capitolo verranno analizzati alcuni scenari di miglioramento per minimizzare il costo della manodopera mantenendo la stessa produttività oraria della linea.

Per effettuare ciò, bisogna innanzitutto esaminare il ciclo di vita del prodotto per comprendere quali investimenti è possibile compiere sulla linea di assemblaggio.

Il ciclo di vita di un qualsiasi prodotto è caratterizzato da quattro fasi fondamentali:

- **introduzione:** contraddistinta da bassi volumi di vendita con saggi di incremento modesti e redditività negativa, la tecnologia del prodotto necessita miglioramenti, il prezzo praticato è sostanzialmente elevato e la politica di marketing è focalizzata sull'attività di propaganda;
- **sviluppo:** caratterizzata da una dinamica crescente delle vendite e della redditività, il prodotto è sostanzialmente migliorato sul piano tecnologico e distribuito in misura capillare;
- **maturità:** rappresentata da un sostanziale rallentamento della crescita delle vendite e della redditività, il prodotto è perfetto sul piano tecnologico, ma occorre ripensare alle politiche distributive e alla comunicazione;
- **declino:** contrassegnata da una evidente contrazione della dimensione delle vendite e da una redditività nulla o negativa, il prezzo è posto al livello minimo e la distribuzione viene a essere concentrata.



Figura 8.1: Ciclo di vita di un prodotto

L'invecchiamento del prodotto può essere in parte arginato grazie all'innovazione e al conseguimento di miglioramenti di efficienza della struttura aziendale, contrastando i comportamenti della concorrenza, diretti a imporre la propria leadership tecnologica o di prezzo. Tuttavia, la rapida evoluzione delle esigenze del consumatore impone il rinnovamento e l'opportuna combinazione del portafoglio prodotti. Tale obiettivo deve essere ricercato e perseguito in modo che le vendite di prodotti maturi finanzino lo studio di prodotti nuovi e il relativo lancio, senza compromettere l'equilibrio finanziario dell'impresa.

Analizzando i dati dei prodotti finiti realizzati sulla linea L450, emerge che la tecnologia di filtro gasolio spin-on è in una fase iniziale di declino dal punto di vista delle vendite. A causa di ciò, le politiche aziendali risultano essere estremamente restrittive sugli investimenti realizzabili in macchinari e attrezzature per queste tecnologie di prodotto. Un qualsiasi investimento di questo tipo, viene definito sicuro, se e solo se, l'esborso iniziale viene recuperato in un anno.

8.1 Layout a U

Dagli studi effettuati nel capitolo precedente, è emerso che al variare del mix produttivo, l'operatore dedicato allo scarico della linea presenta livelli di saturazione variabili dal 22% al 28%. Quindi è necessario ricavare delle soluzioni per ottimizzare questa risorsa umana. Questo è possibile o assegnando ulteriori tasks all'operatore addetto allo scarico della linea oppure facendo in modo che un operatore sia in grado di gestire contemporaneamente più postazioni.

Nelle condizioni di layout rettilineo, nessun operatore ha la possibilità di allontanarsi da una stazione per svolgere più attività. La linea di assemblaggio quindi, risulta essere molto rigida in quanto non garantisce l'utilizzo di buffers in tutte le stazioni manuali.

Spostando la stazione di scarico linea nei pressi della stazione di carico pacchi, è possibile risparmiare un operatore, dal momento che sarà sufficiente un'unica persona che gestisce due stazioni insature molto vicine tra loro.

Per comprendere il beneficio che si riesce a trarre da questo intervento, bisogna innanzitutto conoscere il numero di prodotti finiti venduti nell'ultimo anno.

- **Filtri avvitati:** 176139 pz/anno
- **Filtri a tubetti:** 85212 pz/anno
- **Filtri ONE:** 104995 pz/anno

Conoscendo la produttività oraria della linea al variare delle categorie di prodotto, si possono calcolare le ore di produzione necessarie a realizzare i volumi di prodotti finiti sopracitati:

- **Filtri avvitati**

$$\frac{176139 \text{ pz/anno}}{1000 \text{ pz/ore}} = 176,14 \text{ ore/anno}$$

- **Filtri a tubetti:**

$$\frac{85212 \text{ pz/anno}}{900 \text{ pz/ore}} = 94,68 \text{ ore/anno}$$

- **Filtri ONE:**

$$\frac{104995 \text{ pz/anno}}{800 \text{ pz/ore}} = 131,24 \text{ ore/anno}$$

Infine, sapendo che il costo della manodopera è pari a 25 €/ora, si può calcolare il risparmio di costi che si riesce a ottenere:

$$25 \frac{\text{€}}{\text{ora}} \cdot (176,14 + 94,68 + 131,24) \frac{\text{ore}}{\text{anno}} = 10051,5 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

Adesso bisogna confrontare questo beneficio (inteso come un risparmio di costi) con l'esborso iniziale necessario a modificare il layout della linea. Poiché sono necessari solo 2000 € per cambiare il layout della linea; l'investimento risulta essere sicuro poiché permette di ottenere risparmi notevoli in un solo anno.

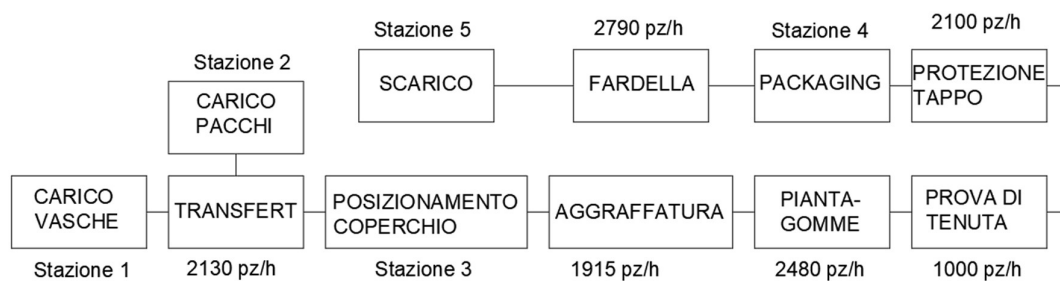


Figura 8.2: Layout a U nel caso di assemblaggio di filtri avvitati

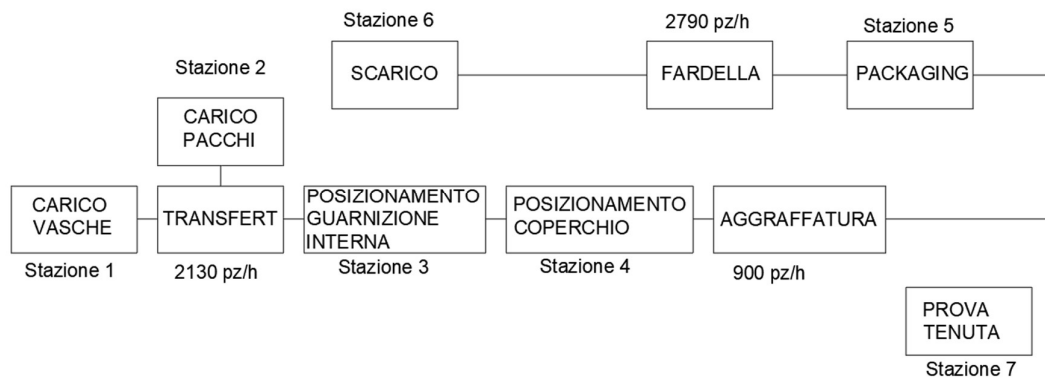


Figura 8.3: Layout a U nel caso di assemblaggio di filtri a tubetti

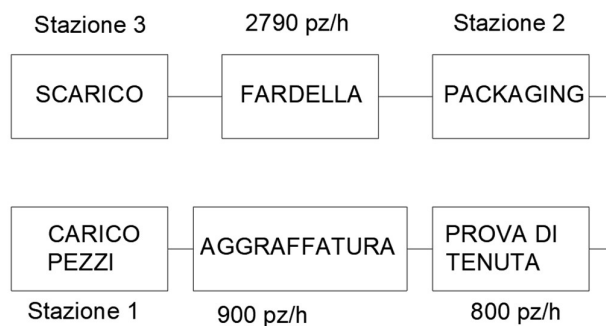


Figura 8.4: Layout a U nel caso di assemblaggio di filtri ONE

8.2 Installazione di una macchina scatolatrice

Un'altra soluzione di miglioramento, che tende ad aumentare il grado di automazione della linea, consiste nell'installare una macchina scatolatrice per sostituire la stazione manuale di packaging.

Al variare delle categorie di prodotto, si possono risparmiare 3 o 4 persone. Nel caso di assemblaggio del filtro avvitato sono necessari 3 operatori, mentre nei restanti casi sono necessari 4 operatori.

Le ore di apertura impianto necessarie per la produzione di ogni prodotto finito sono state calcolate nel paragrafo precedente e rimangono ovviamente invariate.

- **Filtri avvitati:** 176,14 ore/anno
- **Filtri a tubetti:** 94,68 ore/anno
- **Filtri ONE:** 131,24 ore/anno

Il risparmio di costi che si ottiene viene così individuato:

- **Filtri avvitati:**

$$3 \text{ operatori} \cdot 25 \frac{\text{€}}{\text{ora}} \cdot 176,14 \frac{\text{ore}}{\text{anno}} = 13210,5 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

- **Filtri a tubetti:**

$$4 \text{ operatori} \cdot 25 \frac{\text{€}}{\text{ora}} \cdot 94,68 \frac{\text{ore}}{\text{anno}} = 9468 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

- **Filtri ONE:**

$$4 \text{ operatori} \cdot 25 \frac{\text{€}}{\text{ora}} \cdot 131,24 \frac{\text{ore}}{\text{anno}} = 13124 \frac{\text{€}}{\text{anno}}$$

In totale quindi, il risparmio di costi totale è pari a 35802,5 €/anno. Sapendo che per installare una nuova macchina scatolatrice è necessario investire 30000 €, l'investimento in questo macchinario risulta essere sicuro poiché si ha un risparmio di costi già nell'anno successivo all'investimento.

8.3 Soluzione tampone

Nei due paragrafi precedenti è stato messo in risalto il fatto che, aumentando il grado di automazione della linea di assemblaggio si riescono a ottenere grandi vantaggi in termini di efficienza e risparmio di costi. Nonostante ciò, per concludere definitivamente quest'analisi AS IS & TO BE, è bene precisare che le proposte di miglioramento futuro non possono essere effettuate nell'immediato; di conseguenza bisogna cercare una soluzione tampone per innalzare il grado di saturazione dell'operatore addetto allo scarico della linea.

Quindi, si è pensato che, nel periodo di tempo antecedente all'attuazione delle modifiche sulla linea, si potrebbe assegnare un task aggiuntivo all'addetto allo scarico.

In particolare, come è stato già ripetuto, il processo di assemblaggio dei filtri ONE non inizia sulla linea L450, ma su dei banchi appositi esterni alla linea. Pertanto tale processo di pre-assemblaggio può avvenire in modo completamente disaccoppiato rispetto all'assemblaggio vero e proprio su linea.

Dunque, per innalzare il grado di saturazione dell'operatore addetto allo scarico a valori prossimi all'85%, è stato allestito un banco di pre-assemblaggio in corrispondenza della stazione di scarico, in modo tale da far svolgere due attività alla stessa persona.

Sapendo che, per realizzare un pezzo pre-assemblato, in condizioni normali, sono necessari 48 secondi (75 pz/ora) e che al variare delle categorie di prodotto, gli operatori allo scarico presentano i seguenti livelli di saturazione uomo:

- **Filtri avvitati** → Saturazione uomo del 27%
- **Filtri a tubetti** → Saturazione uomo del 25%
- **Filtri ONE** → Saturazione uomo del 22%

È possibile comprendere, quale dovrà essere lo standard temporaneo di produttività dei pezzi pre-assemblati al variare del mix-produttivo:

- **Filtri avvitati:**

$$(0,85 - 0,27) \cdot 75 \frac{\text{pz}}{\text{ora}} = 43 \frac{\text{pz}}{\text{ora}}$$

- **Filtri a tubetti:**

$$(0,85 - 0,25) \cdot 75 \frac{pz}{ora} = 45 \frac{pz}{ora}$$

- **Filtri ONE:**

$$(0,85 - 0,22) \cdot 75 \frac{pz}{ora} = 47 \frac{pz}{ora}$$

Dunque agendo in questa direzione, si potrebbero realizzare in *tempo mascherato* delle attività che andrebbero effettuate con ulteriori operatori sul banco di pre-assemblaggio.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- Womack, J.P., Jones, D.T., 2018. Lean Thinking come creare valore e bandire gli sprechi, pp 43-58.
- Viola, A., 2012. A GEMBA! Guida operativa per la produzione snella, pp 62-87.
- Becker, C., Scholl, A., 2006. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, pp 694–715.
- Cappetta, M., 2001. Manuale di gestione industriale, pp 62-90.
- De Toni, A.F., Panizzolo, R., Villa, A., 2013. Gestione della produzione, pp 97-127.
- Garofalo, M., 2014. L'analisi Della Produzione In Linea, pp 22-31.
- Coimbra, E.A., 2009. Total Flow Management, pp 127-144.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., 2010. Operations Management, pp 177-206.
- Shingo, S., 1989. A Study of the Toyota Production System: From an Industrial Engineering Viewpoint, pp 43-97.
- Elia, A.K., Choudhary, D., Optimization of balancing for a mixed multi model assembly line.
- Razali, M.M., Recent Trend in Mixed-Model Assembly Line Balancing Optimization using Soft Computing Approaches.
- Ho, W., Emrouznejad, A., A mathematical model for assembly line balancing model to consider disordering sequence of workstations.
- de Fokkert, J.I., de Kok, T.G., The mixed and multi model line balancing problem: a comparison.
- Sogefi Filtration, 2000. Dispense ufficio tecnico: sistemi di filtrazione.
- Schenone, M., Impianti Meccanici a.a. 2018/19.
- Ragazzi, E.M., 2018. Appunti di Economia ed Organizzazione Aziendale.
- Iuliano, L., 2019. Dispense di Sistemi Integrati di Produzione
- Storia Sogefi S.p.A. <https://www.sogefigroup.com/it/gruppo-sogefi/storia.html>
- Principi Lean Production. <https://www.slideshare.net/logisticaefficiente/convegno-vercelli-lean-thinking-10062014>

- Definizione di kanban. <https://www.kanban.it/it/>
- Funzione qualità. <https://www.qualitiamo.com/responsabile/compiti.html>
- Classificazione linee di assemblaggio. https://www.researchgate.net/figure/Single-model-line-mixed-model-line-and-multimodel-line_fig11_282538544