



UNIVERSITÀ DI PISA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'ENERGIA DEI SISTEMI
DEL TERRITORIO E DELLE COSTRUZIONI**

**RELAZIONE PER IL CONSEGUIMENTO DELLA
LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE**

***Implementazione dei principali pilastri della TPM su
una linea di assemblaggio automatica***

SINTESI

RELATORI

Prof. Ing. Gino Dini
Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

Ing. Egizia Marchetti
Vitesco Technologies Italy s.r.l.

IL CANDIDATO

Giovanni Ingrande
giovanniingrande@yahoo.it

Implementazione dei principali pilastri della TPM su una linea di assemblaggio automatica

Giovanni Ingrande

Sommario

Il seguente lavoro di tesi nasce dall'attività di tirocinio svolta presso Vitesco Technologies nella sede di Fauglia (PI), stabilimento specializzato nella produzione di iniettori. Lo scopo del lavoro è quello di implementare i principi che hanno reso famosa la TPM: Focus Improvement, Education and Training, Manutenzione Autonoma e Manutenzione Preventiva. In questo modo, Vitesco punta ad incrementare l'efficienza riducendo al minimo gli sprechi in ogni reparto produttivo. Per individuare le attività di miglioramento da svolgere si è proceduto con una analisi della linea produttiva, considerando l'OEE e il suo deployment per la valutazione delle performance, ma anche il flusso del processo produttivo. Una volta individuate le problematiche e gli elementi che contribuivano maggiormente alle perdite sono state svolte delle attività di miglioramento ad impatto diretto sulla produzione (attività di Focus Improvement) e ad impatto indiretto sulla produzione (attività di Manutenzione Autonoma e Preventiva). A completamento del lavoro svolto, sono state eseguite le attività di formazione al personale di produzione riguardanti i cambiamenti apportati all'interno della linea produttiva, garantendone la sostenibilità attraverso la produzione di documentazione idonea.

Abstract

The following thesis had been development during the internship activities carried out in Vitesco Technologies based in Fauglia (PI), which is specialized in the production of engine injectors. The aim of the work is to implement the principles that made TPM famous: Focus Improvement, Education and Training, Autonomous Maintenance and Preventive Maintenance. Through TPM, Vitesco aims to increase efficiency by minimizing waste in each production department. To identify the improvement activities to be executed, an analysis of the production line was conducted, considering the OEE with its deployment for performance evaluation, and the flow of the production process. Once the problems and the elements that contributed most to the losses were identified, improvement activities with direct impact on production performance (Focus Improvement activities) and activities with indirect impact on production performance (Autonomous and Preventive Maintenance activities) were carried out. To complete the work, production staff training activities were conducted regarding the changes made within the production line, ensuring its sustainability through the creation of suitable documentation.

1. Vitesco Technologies

Vitesco Technologies, formata nel settembre 2019 dal distacco della divisione di Powertrain della Continental, è una azienda che si occupa di sviluppare e produrre componenti powertrain per l'industria automobilistica. Nello specifico, lo stabilimento di Fauglia si occupa di ricerca, sviluppo, industrializzazione e produzione di sistemi di iniezione per motori a combustione interna che poi vengono venduti a diverse aziende in tutto il mondo. All'interno dello stabilimento vengono prodotte varie famiglie di iniettori costituite da diverse varianti.

2. Processo di assemblaggio

L'iniettore viene assemblato completamente all'interno dell'azienda. Per far ciò si è dotata di diverse linee di assemblaggio automatiche che eseguono prima l'assemblaggio di alcune parti dell'iniettore (subassemblati) ed in seguito l'assemblaggio finale, che avviene su altre linee.

2.1 ATB subassembly

L'area di assemblaggio su cui si è posto il focus durante lo svolgimento del tirocinio si occupa di assemblare l'ATB che è l'elemento presente all'interno dell'iniettore che ha il compito di iniziare e terminare il processo di iniezione. Esso è costituito da 5 elementi (Fig.1): Needle, UAR, Armature, Hydro disk e Ball. Le



Figura 1: ATB presente nell'iniettore

linee di assemblaggio analizzate sono 2 (ATB1 e ATB2), leggermente differenti nel layout pur eseguendo le stesse operazioni. La linea ATB1 è costituita da due moduli separati tra di loro, la linea ATB2 da 4 moduli collegati da dei nastri trasportatori.

2.2 Obiettivi e scopo della tesi

La seguente tesi ha lo scopo di analizzare le linee di assemblaggio adibite alla produzione dell'ATB per implementare i concetti della filosofia TPM attraverso il consolidamento dei suoi 4 principali pilastri e degli strumenti utilizzati all'interno di Vitesco Technologies, come la FMECA o il KATA. L'obiettivo che è stato posto all'inizio del percorso formativo svolto all'interno dell'azienda è quello di migliorare le performance delle linee e di individuare ed eliminare eventuali inefficienze presenti nelle modalità di lavoro degli operatori nell'area di assemblaggio.

3. Analisi dei dati e del processo produttivo

Per poter decidere quali azioni di miglioramento eseguire è necessario avere informazioni e dati inerenti al processo produttivo. Le analisi svolte sono state di due tipi: una attraverso l'osservazione del processo di assemblaggio e delle attività svolte da parte dell'operatore all'interno della linea, l'altra attraverso i dati di produzione raccolti dal sistema informativo aziendale per visualizzare le perdite.

3.1 Analisi del processo di assemblaggio

Per poter implementare al meglio i concetti della TPM bisogna innanzitutto comprendere il processo di assemblaggio e i suoi attori. È stata eseguita l'analisi delle attività dell'operatore e la mappatura del flusso dei materiali all'interno dell'area:

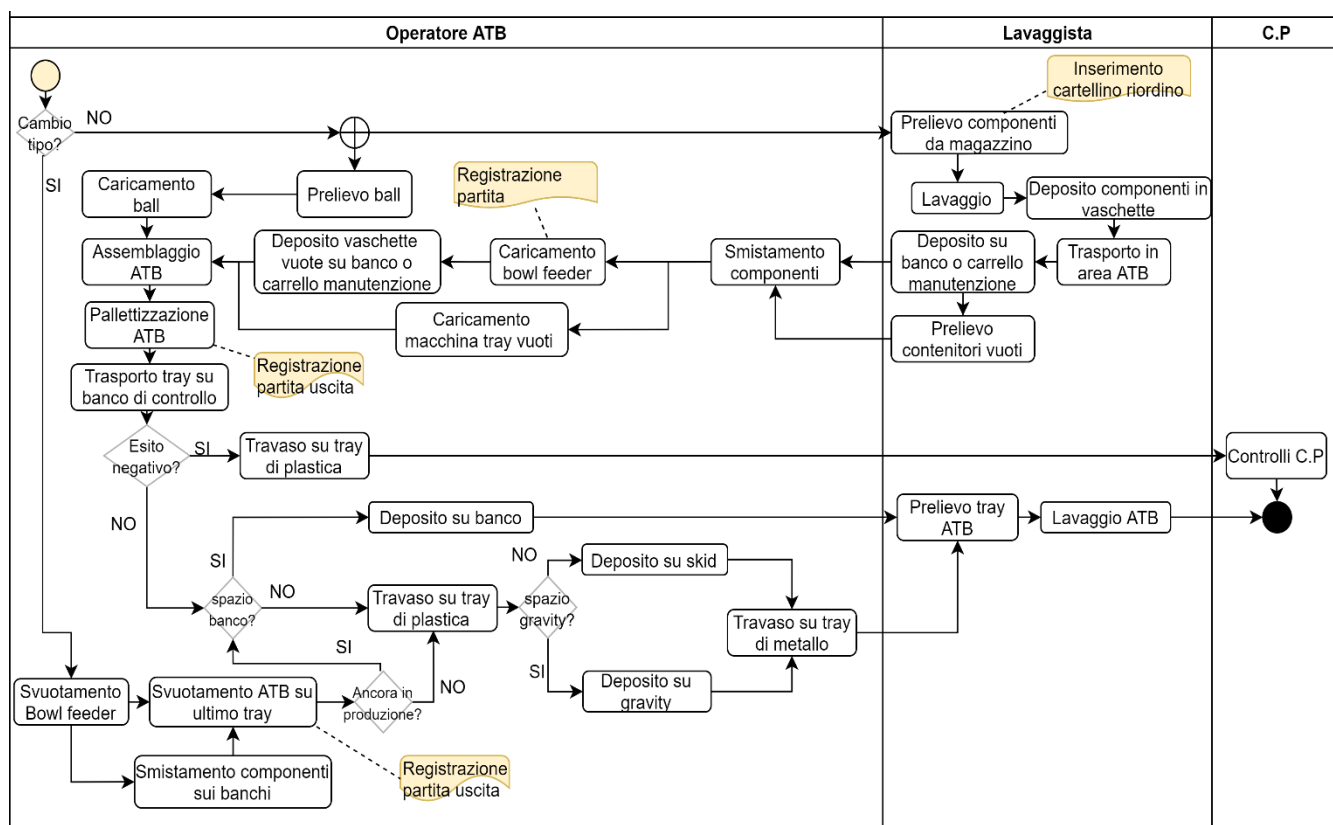


Figura 2: diagramma di flusso movimentazione materiali

Nella Fig.2 sono riportate tutte le casistiche di movimentazione, considerando allontanamenti per quarantena e movimentazioni per il cambio tipo, ma anche i soggetti che svolgono tali attività. Attraverso queste analisi sono state riscontrate delle inefficienze che vengono trattate nel paragrafo 4.2.

3.2 Analisi delle perdite di produzione

Per analizzare le perdite si è partiti dal calcolo dell'OEE che è l'indicatore utilizzato per valutare l'efficienza delle linee e che rappresenta la percentuale del tempo disponibile utilizzato effettivamente per la produzione; in seguito, è stato eseguito il suo deployment. I dati riguardanti le performance e le perdite della linea sono stati estratti dal database operatore in cui l'operatore ha il compito di registrare i fermi macchina secondo le categorie alla quale appartengono (guasti, scarti, mancanza componenti, ecc..).

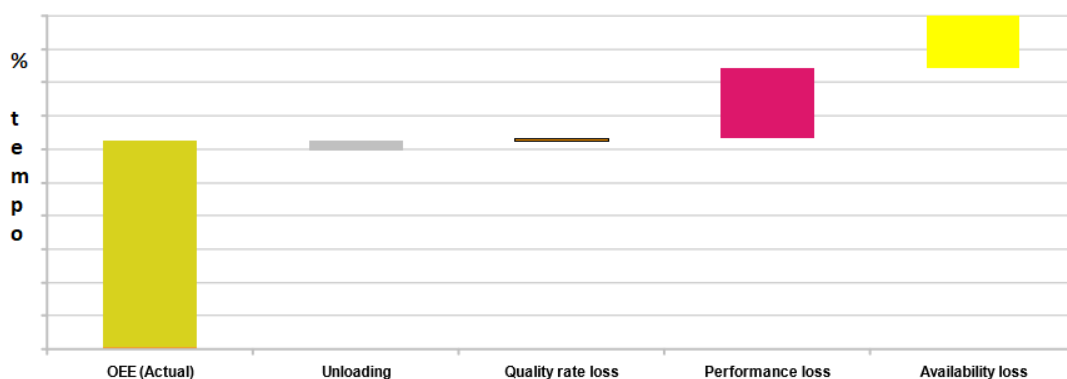


Figura 3: OEE deployment

Nella Fig.3 (valori omessi per privacy) viene rappresentata l'OEE e la scomposizione delle perdite di performance, suddivise in 3 macrocategorie (Quality rate, Performance e Availability), in funzione del tempo disponibile per la produzione; l'Unloading rappresenta, invece, la percentuale di tempo dei fermi programmati. In seguito, sono stati classificati i fermi macchina (voce più grande all'interno dell'Availability loss) attraverso un'analisi di Pareto (Fig.4, valori omessi per privacy) per capire quale stazione contribuisse maggiormente alle perdite, tenendo in considerazione il tempo di fermo macchina rispetto al tempo totale di produzione. I quadrati rossi in figura, invece, rappresentano le occorrenze dei fermi.

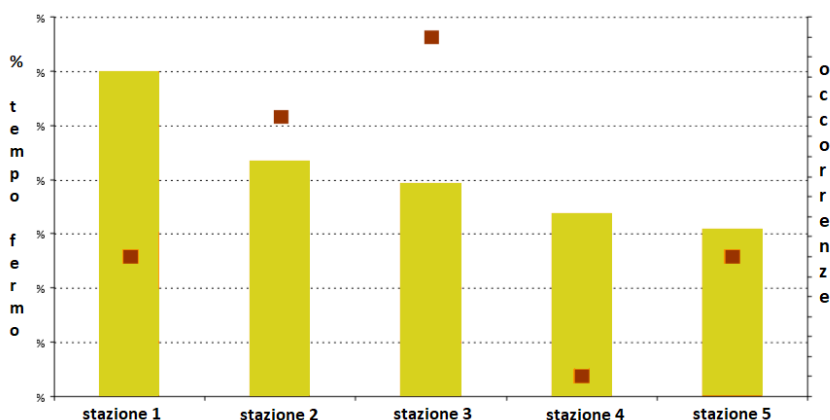


Figura 4: analisi di Pareto fermi macchina

Queste analisi hanno evidenziato due problematiche. La prima riguarda le elevate perdite di performance (Performance loss) da attribuire maggiormente a tempi ciclo medi elevati (non a

target), ma anche alla loro elevata variabilità per via del malfunzionamento di un sistema di visione; la seconda riguarda l'elevato numero di fermi dovuti a guasti o ad elevati scarti provenienti dalle stazioni di Gap setting, stazioni (due per linea di produzione) adibite al piantaggio dell'Hydro disk (HD) sul Needle (vedi Fig.1) secondo le specifiche del prodotto. Dai risultati di queste analisi si è deciso di svolgere alcuni progetti, descritti nel paragrafo 4.

4. Implementazione TPM

Una corretta implementazione della TPM prevede che vengano eseguite attività riguardanti tutti i suoi principali pilastri, non solamente uno od alcuni di essi, per ottenere dei benefici.

4.1 Implementazione Focus Improvement

Il Focus Improvement è il pilastro che si pone come obiettivo l'eliminazione delle perdite di produzione ("six big losses") attraverso l'implementazione di azioni mirate di problem solving con l'obiettivo di incrementare le performance. Due sono i progetti svolti in questo ambito.

4.1.1 Progetto Kata riduzione tempi ciclo

Entrambe le linee di assemblaggio presentavano dei tempi ciclo non a target. Il tempo ciclo non veniva registrato automaticamente ed è stato necessario rilevare i tempi attraverso un cronometro. I moduli delle linee sono composti da tavole rotanti che trasportano il pezzo da una stazione a quella successiva, quindi il tempo di rotazione è dato dal tempo di lavoro della stazione più lenta. Di seguito si mostra lo scostamento percentuale dei tempi ciclo medi per modulo:

ATB1 UAR	ATB1 Final	M10 ATB2	M20 ATB2	M30 ATB2	M40 ATB2
-8 %	+20%	+3%	+9%	+15%	-2%

Per affrontare questo progetto si è utilizzata la metodologia del KATA. Il Kata prevede che venga affrontato il problema step by step tramite l'esecuzione di piccole azioni e il monitoraggio dei loro risultati, prima di procedere al passo successivo, questo con il supporto di un coach che aiuta l'improver (il soggetto che esegue le azioni di miglioramento) nel trovare le soluzioni. Nel caso in esame, il problem solving è stato affrontato attraverso diverse iterazioni in cui il coach chiedeva all'improver qual era la condizione attuale e quella obiettivo. Dopodiché veniva trascritta l'attività effettiva che era stata svolta nel ciclo precedente, aggiornando la condizione attuale se necessario. A questo punto si discuteva se l'ipotesi formulata fosse stata verificata oppure confutata. Da ciò si trascriveva tutto quello che era stato appreso e se gli ostacoli erano stati superati o se ve ne erano di nuovi; in quest'ultimo caso essi venivano riportati nel parcheggio ostacoli. Infine, veniva scelto l'ostacolo da affrontare e il coach guidava l'improver nel formulare

delle ipotesi e nell'esperimento da dover fare nello step successivo, compresi i risultati attesi da esso. Attraverso l'iterazione di questo processo sono emerse le seguenti criticità:

1. Le stazioni di Gap setting rappresentavano il collo di bottiglia iniziale. Per analizzare dove risiedeva il problema è stato necessario creare il **ciclogramma** del suo funzionamento per individuare quali erano le fasi lente da dover velocizzare o eliminare. Alcuni componenti della stazione non presentavano le stesse misure del disegno; inoltre sono stati resettati alcuni parametri della macchina (velocità, posizione iniziale cuneo piantaggio, ecc....)
2. Una volta ridotti i tempi di lavoro delle stazioni di Gap, è stata eseguita una nuova misurazione dei tempi ciclo medi per trovare il collo di bottiglia successivo. In tutti i casi, i rallentamenti erano dovuti al cattivo funzionamento di slitte pneumatiche e Pick and Place, per i quali è stato necessario eseguire delle regolazioni manuali.

Il progetto si conclude con i risultati mostrati nella Fig.5: la riduzione dei tempi ciclo è pari al 12% per la linea ATB1 e all'11% per la linea ATB2, ottenendo le maggiori riduzioni agendo sulle stazioni di Gap setting nei cicli 4-7 e sulle slitte Pick and Place nel ciclo 11.

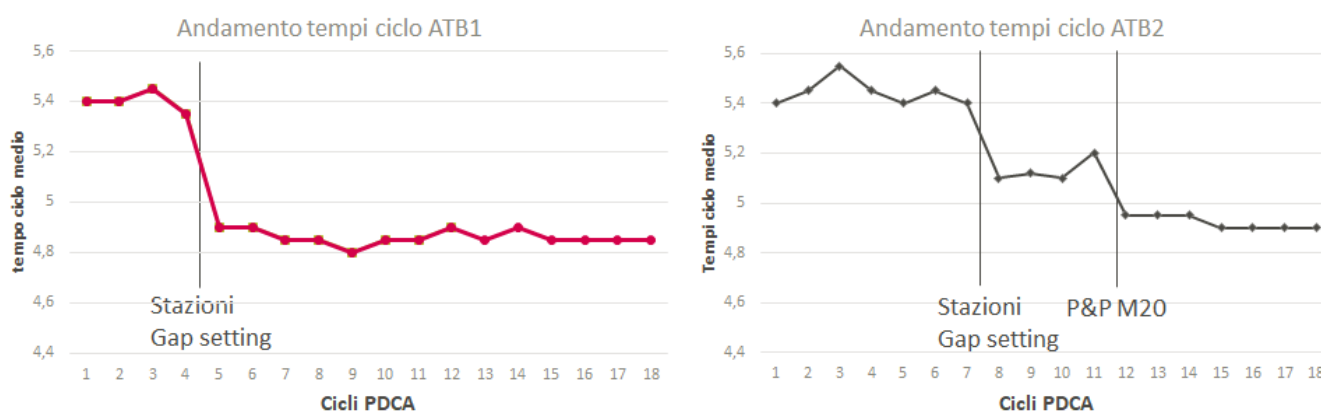


Figura 5: andamento tempi ciclo medi per ciclo di PDCA

Inoltre, è stato richiesto al fornitore delle linee di produzione di visualizzare i tempi ciclo dal sistema informativo per riuscire ad averne un maggior controllo.

4.1.2 Miglioramento sistema di visione Needle

Il sistema di visione Needle è costituito da una telecamera che esegue delle foto al componente in ingresso per controllarne l'orientamento e la tipologia. Il sistema presentava grossi problemi e in maniera saltuaria iniziava a scartare un elevato numero di Needle rallentando la linea. Dopo l'analisi della parte software e hardware sono stati trovati i seguenti problemi:

- Lo sfondo dell'immagine del Needle da analizzare presentava un colore non omogeneo;
- Assenza feedback modulo per cui il problema poteva non essere rilevato immediatamente;
- Difficoltà nella comprensione del sistema da parte del personale.

Trovati i problemi, sono state eseguite le seguenti azioni per eliminarli:

- Riprogettazione inserti sfondo pinze: a sinistra (Fig. 6.a) la nuova soluzione che crea un miglior contrasto sull'immagine rispetto alla vecchia soluzione (Fig. 6.b).

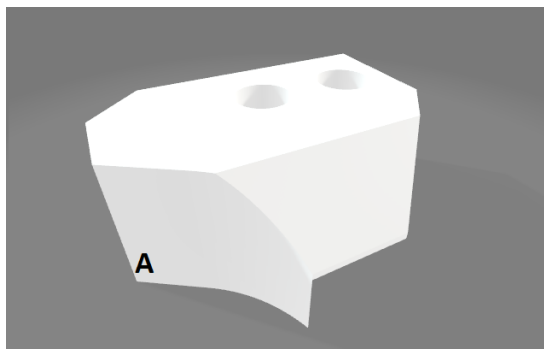


Figura 6.a nuova soluzione



Figura 6.b vecchia soluzione

- Inserimento allarme elevati scarti nel modulo;
- Creazione di un piano di reazione e di una istruzione che spiega il funzionamento del sistema di visione, con l'obiettivo di supportare il personale di produzione in caso di scarti.

4.3 Implementazione Manutenzione Autonoma e 5S

La Manutenzione Autonoma è il pilastro che permette di far focus sull'operatore, con l'obiettivo di renderlo partecipe al processo di miglioramento e sostenimento delle attività puntando sulla collaborazione e l'intraprendenza. All'interno dell'area ATB, la Manutenzione Autonoma è stata implementata partendo dalle analisi svolte nel paragrafo 3.2, individuando delle inefficienze nel processo di movimentazione e stoccaggio dei materiali ma anche supportando l'implementazione del Jidoka attraverso la revisione e la creazione dei piani di reazione.

4.2.1 Gestione flusso materiali e organizzazione area

Le attività svolte riguardano la:

- **Riorganizzazione banchi deposito materiale:** non erano presenti degli standard di movimentazione e i componenti venivano depositati senza criterio all'interno dell'area ATB. Ciò creava disordine e perdite di tempo nell'identificazione dei componenti. Utilizzando la metodologia delle 5S è stata riorganizzata l'area, definendo le posizioni

di ogni componente in modo tale da minimizzare la distanza con la posizione di ingresso in macchina.

- **Gestione resi cambio tipo:** quando avveniva il cambio tipo i componenti della tipologia precedente venivano stoccati nei banchi presenti senza criterio. Ciò ha portato all'accumulo di materiali che non venivano utilizzati all'interno dell'area. Per ovviare a tale problema si è deciso di rimuovere tutti i resi derivanti dalle precedenti produzioni e di mantenere solo i componenti in produzione. Inoltre, è stata stabilita una nuova procedura nella gestione dei resi con l'obiettivo di mantenere la logica FIFO: al cambio tipo i componenti della produzione precedente vengono ritirati dal lavaggista, così facendo saranno i primi ad essere utilizzati nella prossima piazzatura.
- **Riorganizzazione carrello CIL:** la cosiddetta CIL racchiude tutte le attività di pulizia e mantenimento della macchina in modo da prevenire eventuali derive. A causa di una errata gestione dei materiali necessari per l'esecuzione delle CIL, è stato riorganizzato lo spazio dedicato a tali materiali. Inoltre, è stata trasferita l'attività di pulizia/sostituzione dei vetri di saldatura da macchina ferma a macchina in produzione, avvalendosi di parti di ricambio e materiali idonei, riducendo il tempo di intervento da parte dell'operatore da circa 5 minuti a 1 minuto.

4.2.2 Implementazione piani di reazione

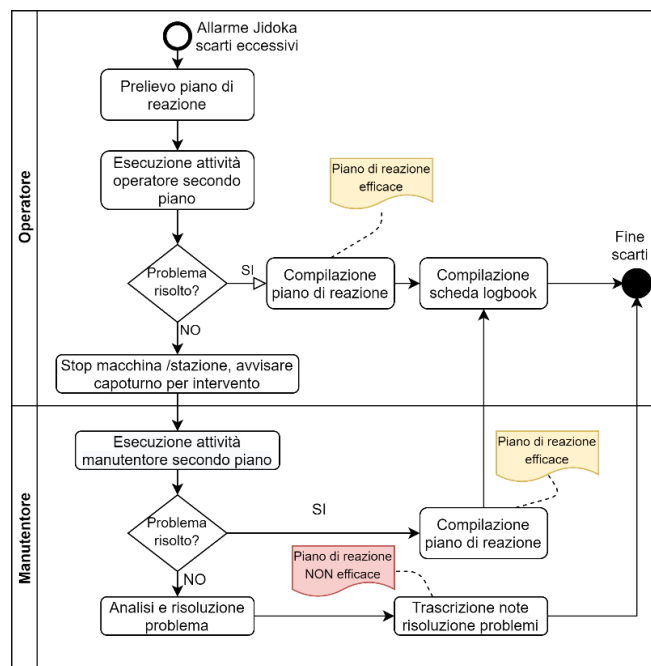


Figura 7: diagramma di flusso reazione scarti (processo Jidoka)

Per supportare l'implementazione del Jidoka sono stati revisionati e creati dei piani di reazione: sono documenti che guidano l'operatore e il manutentore nell'esecuzione delle attività per la risoluzione di problemi inerenti agli scarti. Le modifiche apportate riguardano il trasferimento di

alcune attività svolte normalmente dal manutentore all'operatore, dotandolo degli strumenti necessari laddove serva. Per esempio, è stato creato uno standard work (vedi paragrafo 4.4) che spiega esattamente come deve essere eseguita la lubrificazione del cilindro di piantaggio della stazione di Gap setting. Nel diagramma di flusso (Fig.7) viene mostrato il funzionamento del processo a fronte di scarti. Quando suona l'allarme Jidoka l'operatore prende il piano di reazione ed esegue le attività indicate in base alla tipologia di scarto. Se risolve il problema, inserisce il fermo macchina Jidoka specificando che il piano di reazione è stato efficace, altrimenti ferma la macchina e richiede l'intervento della manutenzione. Il manutentore esegue le attività previste dal piano di reazione e se esegue altre attività deve indicarlo nelle note. Dopodiché l'operatore inserirà il fermo specificando se il piano di reazione è stato efficace o no.

4.3 Implementazione Manutenzione Preventiva

La Manutenzione Preventiva è il pilastro della TPM che ha lo scopo di prevenire il proliferare dei guasti all'interno delle linee di produzione, attraverso l'esecuzione di interventi programmati e la gestione delle attrezzature per ridurre i costi della manutenzione. Nella linea in esame, si è scelto di eseguire una analisi FMECA della stazione più critica scelta tramite la precedente analisi dei fermi macchina. L'analisi è stata portata a termine tramite 4 fasi:

1. **Scomposizione funzionale della stazione:** l'entità è stata scomposta sino ad ottenere un albero di componenti significativi per la manutenzione e il funzionamento della stazione. Inizialmente è stata presa in considerazione la BOM della stazione senza escludere alcun componente. In seguito, analizzando il funzionamento della macchina, sono stati esclusi tutti quei componenti che per la loro natura non risultavano significativi.
2. **Individuazione cause, modi ed effetti dei guasti:** per individuare tutte le possibili modalità di guasto, le cause e gli effetti, sono state eseguite analisi delle bolle della manutenzione (documenti redatti dalla manutenzione dove vengono descritti gli interventi eseguiti) avvalendosi anche del parere degli esperti della linea che conoscono la macchina.
3. **Analisi delle criticità:** per analizzare i componenti ed eseguire una classificazione è stato utilizzato il seguente indice

$$R = \text{Gravità} * \text{Tempo o Ricorrenza} * \text{Facilità di diagnosi}$$

dove la **Gravità** dipende dal costo e dalla disponibilità del componente, il **Tempo o Ricorrenza** dipende dall'MTTR e MTBF del componente, e la **Facilità di diagnosi** alla possibilità di avere feedback più o meno diretti sul guasto. Ad ognuno di questi

indici viene assegnato un valore da 1 a 10 per ogni modo di guasto in base a criteri di valutazione prestabiliti. La Fig.8 mostra un esempio dei criteri utilizzati per la valutazione della Gravità (esiste una tabella simile per ogni indice di valutazione utilizzato).

Bassa	1-3	1. Componenti da sostituire con costo inferiore a 500 euro 2. Componenti presenti a scorta
Media	4-6	1. Componenti da sostituire con un costo inferiore a 1000 euro 2. Componenti non a scorta ma reperibili in 1 giorno o sostituibili con componenti simili
Alta	7-10	1. Componenti da sostituire con costo superiore a 1000 euro 2. Componenti non a scorta con lead time reperimento maggiore ad un giorno

Figura 8: valutazione indici Gravità

Le valutazioni sono state fatte compilando una tabella con tutti i componenti e le modalità di guasto rilevate. Di seguito (Tabella 1) si mostra parte della tabella finale, dove sono presenti alcuni dei componenti più critici:

Comp.	Effetto	Modalità di guasto	Causa	G	T	D	R
Albero	False misure/ scarti gap	Albero non trasla correttamente	Usura, ridotta lubrificazione	7	5	7	245
Vite a chiocciola	Scarti di gap, piantaggi errati	Rottura chiocciola	Usura	7	4	3	84
Reazione a cuneo mobile	Cuneo lavora a fine corsa, scarti gap	Cuneo usurato	Usura	2	5	3	30
1 Giunto snodato	Scarti gap e/o albero scorre male	Giunto bloccato	Rottura giunto	5	2	3	30

Tabella 1 componenti critici

4. **Individuazione delle azioni correttive e possibili migliorie:** una volta selezionati i componenti sono state valutate singole azioni per ognuno di loro, riguardanti la gestione della scorta del componente (aumento o inserimento a scorta) o il trattamento (es. lubrificazione periodica da parte dell'operatore). Infine, sono state proposte delle attività da aggiungere al programma di manutenzione preventiva:

- Controllo e/o sostituzione di 3 componenti. Frequenza 4 mesi;
- Controllo e/o sostituzione molle. Frequenza 12 mesi;
- Smontaggio, pulizia e lubrificazione cilindro e boccola piantaggio. Frequenza 6 mesi;
- Controllo serraggio cella di carico. Frequenza 3 mesi.

4.4 Implementazione Education and Training

La formazione è l'elemento fondamentale che permette il sostenimento di tutte le attività svolte inerenti agli altri pilastri. Infatti, in parallelo all'esecuzione di tutte le attività sopraelencate, è stata eseguita la formazione del personale di produzione (manutentori e operatori) laddove necessario. Essa è stata svolta ogni volta che si è modificato il processo e/o si è modificato o creato un documento, per garantire che la conoscenza venisse acquisita da tutto il personale coinvolto. I documenti che sono stati creati sono di diverso tipo:

- **One point lesson (OPL):** documento di una pagina che mostra brevi procedure con supporto di immagini. Utilizzato nella gestione del flusso materiali;
- **Standard work instruction:** documento che descrive step by step le modalità di svolgimento di una determinata attività. Utilizzato per descrivere come eseguire la lubrificazione del cilindro delle stazioni di Gap setting;
- **Formati standard:** utilizzato per la creazione dei piani di reazione;
- **Istruzioni:** documento che descrive processi e procedure in maniera dettagliata. Utilizzato per descrivere il sistema di visione Needle e il suo settaggio.

Conclusioni

Compatibilmente agli obiettivi prestabiliti, sono state applicate le metodologie e i pilastri previsti dalla TPM al fine di apportare dei miglioramenti all'interno dell'area di assemblaggio delle ATB. Le attività di Focus Improvement hanno apportato miglioramenti diretti come l'eliminazione del problema inerente al funzionamento del sistema di visione Needle e la riduzione dei tempi ciclo di entrambe le linee, pari al 12% per la linea ATB1 e all'11% per la linea ATB2. Invece, le altre attività hanno apportato dei miglioramenti che non hanno avuto un impatto diretto con la produzione o visibile nel breve termine. La riorganizzazione dell'area di lavoro e la creazione di standard nella gestione dei materiali ha portato ordine e, di conseguenza, una migliore visibilità degli elementi non utili nell'area di produzione. L'utilizzo dei piani di reazione nell'implementazione del Jidoka ha portato maggiore consapevolezza al personale, che con maggior frequenza ferma i moduli per cercare di risolvere il problema. L'analisi FMECA ha portato alla luce problematiche nascoste e le azioni eseguite e proposte mirano ad una riduzione dei fermi macchina nel lungo periodo. Infine, la formazione è stata l'elemento chiave per consolidare i miglioramenti apportati. Con le attività svolte sono state gettate le basi per il miglioramento, che non deve essere abbandonato, ma supportato per raggiungere la massima efficienza, dato che per implementare al meglio tutti i pilastri della TPM servono anni di lavoro e il supporto continuo del team di produzione.