

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**Applicazione di strumenti avanzati del World Class Manufacturing:
metodologia SMED per aumentare la flessibilità del processo
produttivo, con caso applicativo in Mirafiori Powertrain**



Relatore: prof. **Luca Iuliano**

Candidato: **Parfait Kengne Tekom**

Co-relatori: **Valentina Ferrari (FCA)**

Valter Rapegno (FCA)

A.A 2018/2019

Sommario

INTRODUZIONE.....	4
1 WORLD CLASS MANUFACTURING.....	5
1.1 NASCITA E SVILUPPO.....	5
1.2 PILASTRI TECNICI.....	9
1.2.1 SAFETY.....	9
1.2.2 COST DEPLOYMENT.....	11
1.2.3 FOCUSED IMPROVEMENT.....	12
1.2.4 AUTONOMOUS ACTIVITIES.....	14
1.2.4.1 AUTONOMOUS MAINTENANCE.....	14
1.2.4.2 WORKPLACE ORGANIZATION.....	15
1.2.5 PROFESSIONAL MAINTENANCE.....	17
1.2.6 QUALITY CONTROL.....	19
1.2.7 LOGISTICS & CUSTOMERS.....	20
1.2.8 EARLY EQUIPMENT/PRODUCT MANAGEMENT.....	21
1.2.8.1 EARLY EQUIPMENT MANAGEMENT.....	21
1.2.8.2 EARLY PRODUCT MANAGEMENT.....	23
1.2.9 PEOPLE DEVOLPMENT.....	23
1.2.10 ENVIRONMENT/ENERGY.....	25
1.2.10.1 ENVIRONMENT.....	26
1.2.10.2 ENERGY.....	27
1.3 PILASTRI MANAGERIALI.....	28
1.3.1 OBIETTIVI, STRATEGIE E RISORSE.....	28
1.3.1.1 CLARITY OF OBJECTIVE.....	29
1.3.1.2 ROUTE MAP.....	29
1.3.1.3 TIME AND BUDGET.....	30
1.3.2 COMMITMENT.....	30
1.3.2.1 MANAGEMENT COMMITMENT.....	30
1.3.2.2 COMMITMENT OF ORGANIZATION.....	31
1.3.2.3 MOTIVATION OF OPERATORS.....	31
1.3.3 COMPETENZE.....	32

1.3.3.1	ALLOCATION OF HIGHLY QUALIFIED PEOPLE.....	32
1.3.3.2	COMPETENCE OF ORGANIZATION.....	33
1.3.3.3	LEVEL OF DETAIL.....	33
1.3.4	EXPANSION.....	34
2	WCM ACADEMY.....	35
2.1	GLOBAL ACADEMY.....	35
2.2	REGIONAL ACADEMY.....	36
2.3	PANT ACADEMY.....	36
2.4	LA WCM ACADEMY DI TORINO.....	37
2.4.1	NPL LINE SIMULATION.....	37
2.4.2	OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS SIMULATION.....	38
3	METODOLOGIA SMED.....	40
3.1	APPROCCIO TRADIZIONALE E APPROCCIO SMED.....	41
3.2	LE FASI CONCETTUALI PER APPLICARE LO SMED.....	43
3.2.1	PLAN.....	44
3.2.1.1	OSSERVAZIONE SETUP ATTUALE.....	44
3.2.1.2	CLASSIFICARE ATTIVITÀ IN ESTERNE E INTERNE.....	45
3.2.2	DO.....	45
3.2.2.1	ESECUZIONE ATTIVITÀ FUORI DAL SETUP.....	45
3.2.2.2	CONVERTIRE ATTIVITÀ INTERNO IN ESTERNO.....	46
3.2.2.3	RIDURRE IL TEMPO DELLE ATTIVITÀ ESTERNE E INTERNE.....	47
3.2.3	CHECK.....	49
3.2.3.1	VERIFICHE E APPROVAZIONE.....	49
3.2.4	ACT.....	49
3.2.4.1	STANDARDIZZAZIONE.....	49
4	CASO STUDIO.....	50
4.1	MIRAFIORI POWERTRAIN PLANT.....	50
4.2	COST DEPLOYMENT.....	54
4.3	DESCRIZIONE UTE 202.....	62
4.4	ANALISI DEI FATTORI PRODUTTIVI.....	65
4.5	OPERAZIONE DI RETTIFICA.....	68
4.6	DESCRIZIONE DEGLI ERRORI DI FORMA.....	70

4.6.1	RUGOSITÀ SUPERFICIALE.....	70
4.6.2	ERRORI D'ELICA, EVOLVENTE E DIVISIONE.....	74
4.7	APPLICAZIONE SMED	79
4.7.1	PLAN.....	79
4.7.1.1	OSSERVAZIONE DEL SETUP ATTUALE.....	79
4.7.1.2	CLASSIFICAZIONE ATTIVITÀ INTERNE E ESTERNE.....	86
4.7.2	DO.....	86
4.7.2.1	ESECUZIONE ATTIVITÀ FUORI DAL SETUP.....	86
4.7.2.2	CONVERTIRE ATTIVITÀ INTERNE IN ESTERNE.....	86
4.7.2.3	RIDUZIONE DEL TEMPO DELLE ATTIVITÀ INTERNE E ESTERNE.....	88
4.7.3	CHECK.....	103
4.7.3.1	VERIFICHE E APPROVAZIONE.....	103
4.7.4	ACT.....	106
4.7.4.1	STANDARDIZZAZIONE.....	106
	CONCLUSIONE.....	107
	BIBLIOGRAFIA	108
	RINGRAZIAMENTI.....	109

INTRODUZIONE

Il lavoro di tesi riguarda l'applicazione di uno strumento avanzato del World Class Manufacturing per la riduzione del cambio tipo: lo SMED (Single Minute Exchange of Dies).

Le attività teoriche e pratiche che sono necessitate ai fini della tesi sono state condotte in parte presso la WCM Academy di Torino, soprattutto per quanto riguarda lo studio dei pilastri tecnici e manageriali, e in parte presso lo stabilimento di Mirafiori Powertrain dove è stata svolta l'applicazione pratica su una linea di lavorazione dello stabilimento, nella quale risultava strategico ridurre il tempo di cambio tipo per rendere più flessibile la produzione.

Nel primo capitolo, dopo un' introduzione sul WCM verranno illustrati i pilastri tecnici e manageriale del Programma; successivamente nel secondo capitolo verrà descritta la WCM Academy e le principali attività di formazione che in essa si realizzano; nel terzo capitolo verrà proposta un overview sulla metodologia SMED; infine nel quarto ed ultimo capitolo verrà descritta l'area applicativa: In primo luogo verrà descritto lo stabilimento di Mirafiori Powertrain e successivamente la linea nella quale è stata fatta l'applicazione pratica della tesi.

Con riferimento all'applicazione pratica, sono stati analizzati attraverso il Cost Deployment perdite e sprechi dello stabilimento, per identificare i punti di maggiore inefficienza ed impostare di conseguenza un lavoro di attacco a perdite e sprechi attraverso i più adeguati strumenti di ottimizzazione. Nell'ambito della tesi ci si è focalizzati sulle perdite per cambio tipo, per le quali si deciso di avviare progetti di miglioramento, in quanto ritenuti strategicamente necessari ai fini della maggiore flessibilizzazione del processo produttivo. Successivamente l'analisi degli indicatori globali di efficienza della linea ha consentito di identificare la macchina sulla quale fare l'attività di ottimizzazione. L'attività di ottimizzazione e applicazione dello SMED ha portato durante lo sviluppo della tesi ad un progetto di innovazione tecnologica per rendere più robusto il processo di controllo in SAI.

1 WORLD CLASS MANUFACTURING

In questo capitolo verrà spiegata la metodologia *World Class Manufacturing* (WCM), partendo dalla sua nascita fino all'esposizione dei concetti su cui si fonda. Successivamente verranno descritti i principali strumenti e metodi utilizzati per una corretta applicazione della metodologia WCM.

1.1 NASCITA E SVILUPPO.

Oggi giorno, la concorrenza sul mercato implica di avere una certa qualità sul prodotto, e per avere questi requisiti richiesti dal cliente, è stato sviluppato dopo la seconda guerra mondiale in Giappone una piattaforma di gestione del cambiamento e del miglioramento aziendale applicabile con opportuni adattamenti in vari contesti dell'organizzazione aziendale chiamato **WCM (World Class Manufacturing)**.

Già negli anni '80 il *World Class Manufacturing* era conosciuto come approccio per sviluppare il vantaggio competitivo di un'azienda, per questo la maggior parte delle aziende mondiali che avevano forti pressioni competitive, furono spinte ad avvicinarsi al *World Class Manufacturing* e a fornire prodotti di elevata qualità, con migliori prestazioni per sopravvivere, e cercare anche di potenziarsi. L'idea fu approfondita dai studiosi, che per alcuni hanno sviluppato principi e metodi tecnici (pilastri) da applicare al fine di raggiungere il miglior risultato possibile nel manufacturing, altri hanno sviluppato dei metodi gestionale necessari allo coinvolgimento delle persone.

Il termine *World Class Manufacturing* (WCM) fu coniato nel 1986 da Richard Schonberger per identificare il modello produttivo giapponese, definendolo come un *continual rapid improvement* nella qualità, nei costi, e nella flessibilità che permette di competere a livello mondiale. Ma fu presto sostituito dall'espressione "*Lean Production*" di Krafcik, tutt'ora in uso.

Secondo il WCM il miglioramento delle performance segue un percorso ben definito che si basa sulla rimozione di tutti gli ostacoli alla produzione in modo da raggiungere la sua massima efficienza. Inoltre il WCM di Schonberger ha come obiettivo il cambiamento dei contenuti e delle modalità di esercizio del lavoro facendo della partecipazione dei lavoratori il principio chiave del successo; Schonberger, infatti, dà risalto ai nuovi contenuti cognitivi del lavoro produttivo, nello specifico quelli di ricerca e interpretazione dei dati e di *problem solving*: con tali contenuti viene sviluppata la

professionalità operaia sia nella direzione del pensiero concreto ma anche verso l'applicazione del pensiero astratto.

Tra gli anni '90 e l'inizio del XXI secolo il modello si è evoluto sulla base di riflessioni mature da alcune aziende che lo hanno trasformato in un insieme di sistemi di produzione proprietari. L'evoluzione è stata sostenuta in primis dalla *EU Japan Center for industrial Cooperation* (associazione tra la Commissione Europea e il governo giapponese fondata nel 1987) e successivamente dalla *WCM Association*.

Il WCM è quindi un programma di miglioramento che, utilizzando metodologie standard e strumenti specifici, si impone di migliorare il processo produttivo di un'organizzazione fino al raggiungimento di risultati eccellenti riconosciuti e certificati al livello delle migliori aziende manifatturiere mondiali (*World Class*).

Il WCM, come la *Lean Production*, si fonda sul concetto di miglioramento continuo e prevede la massimizzazione del valore aggiunto eliminando ogni tipo di perdita e spreco e il coinvolgendo tutte le persone che operano a qualunque livello dell'organizzazione.

Da ciò deriva che questo, come la *Lean Production*, si basa su tre concetti chiave che sono:

- *Valore aggiunto*: ciò a cui il cliente finale attribuisce valore;
- *Perdita*: impiego di una risorsa a cui è associato un costo ma non la creazione di valore;
- *Spreco*: perdita che si ha quando si utilizzano più risorse di quelle strettamente necessarie.

Il WCM deve coinvolgere tutta l'organizzazione nel suo complesso: partendo dalla fabbrica (*Gemba in giapponese*) passando poi per la qualità totale dei prodotti ed il perfezionamento dei processi logistici interni ed esterni, per giungere al lato acquisti e programmazione fino alla struttura organizzativa e alle pratiche del management.

Gli obiettivi del WCM si raggiungono essenzialmente attraverso tre fattori:

- Implementando metodi specifici (pilastri tecnici e manageriali);
- Applicando e diffondendo determinati strumenti;
- Un mutamento negli atteggiamenti e nelle capacità delle persone.

L'impiego di questi fattori ha come obiettivo il raggiungimento dello "zero" vale a dire: zero guasti, zero scorte, zero incidente, zero difetti.

L'ottenimento di questi standard deriva dall'applicazione di metodologie e discipline specifiche come il Total Ingeneering Quality (TIQ), il Total Quality Control (TQC), il Total Productivity Maintenance(TPM) e il Just in time (JIT), come illustrato nella figura 1.

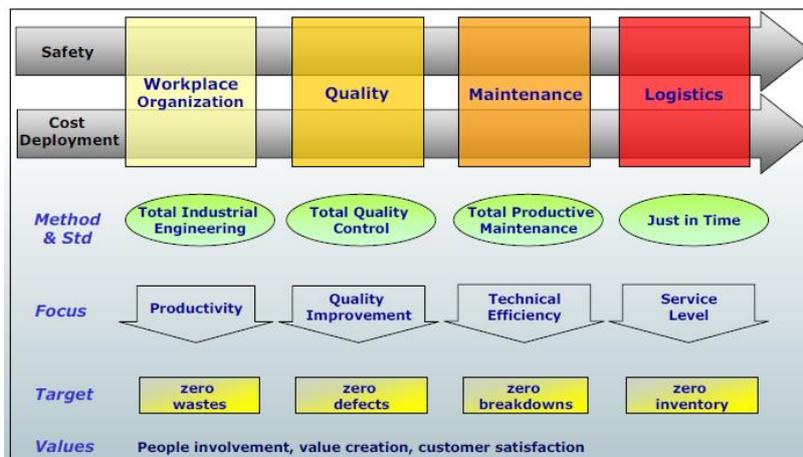


Figura 1: Manufacturing system

La storia tra il WCM e la FCA inizia nel 2005 quando, in un periodo grave di crisi, il top manager Sergio Marchione ha individuato nel manufacturing un fattore chiave di competitività e nel WCM un modo chiaro per raggiungere l'obiettivo. Insieme al professore giapponese Hajime Yamashina vengono stabiliti due stabilimenti pilota, Melfi in Italia e Tychy in Polonia, in cui applicare il WCM, e poco dopo verrà applicato anche nello stabilimento di Cassino o.

La metodologia WCM segue due percorsi diversi ognuno descritto da 10 pilastri. Ci sono i cosiddetti *pilastri tecnici* e i *pilastri manageriali*.

I pilastri tecnici servono a svolgere le attività di miglioramento sui processi di fabbrica, mentre quelli manageriali guidano il management dell'impresa verso il giusto processo decisionale al fine di incrementare i risultati ed ottimizzare i processi di miglioramento ed integrazione tra i pilastri tecnici.

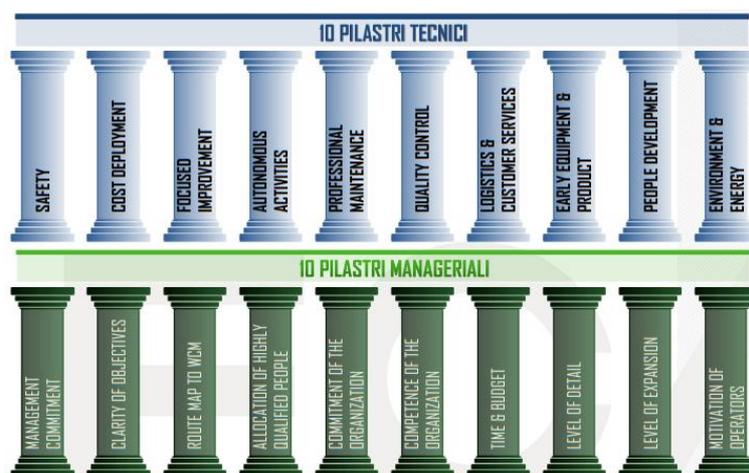


Figura 2: Framework del WCM

Ogni pilastro tecnico si suddivide in sette step che guidano la l'applicazione operativa, e questi step si possono raggruppare in tre fasi:

- **Reattiva:** viene individuato il problema e di conseguenza messe in pratica le azioni correttive per ridurre gli effetti negativi;
- **Preventivo:** sulla base dei problemi risolti nella fase reattiva, si adottano contromisure in modo che questi non accadono più;
- **Proattiva:** si azzera in modo proattivo il rischio che il problema si verifichi.



Figura 3: livelli di approccio dei pilastri

Questo percorso viene applicata nelle cosiddette “aree modello “, ossia aree di stabilimento ritenute più critiche. Quindi, all’inizio, il programma WCM viene attivato in un’area modello, e mentre si scende in profondità con l’applicazione del metodo, viene simultaneamente espanso in tutto lo stabilimento come si può notare dalla figura 4.

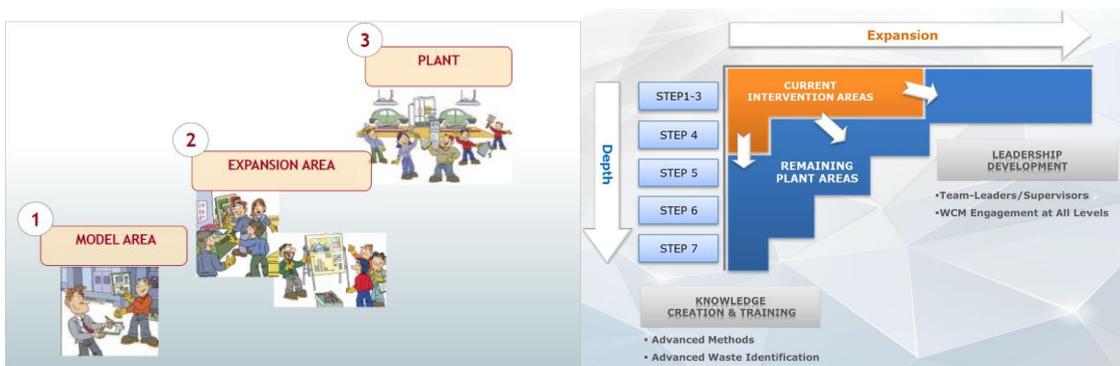


Figura 4: estensione area modello

I pilastri manageriali permettono di applicare quelli tecnici in modo più veloce e di ottenere risultati più efficaci (aumentano speed e space).

Per valutare il livello di performance raggiunto dallo stabilimento applicando la metodologia WCM, esistono degli audit che possono essere sia interni che esterni. Attraverso questi audit, ad ogni pilastro viene attribuita un punteggio tra 0 e 5, e il punteggio complessivo di tutti i pilastri permette allo stabilimento di raggiungere un certo score che può essere:

- Ripristino delle Condizioni base: 0-50
- Bronzo: 50-59
- Silver: 60-69
- Gold: 70-84
- World Class: 85-100



Figura 5 - Punteggio WCM

1.2 PILASTRI TECNICI

1.2.1 SAFETY

Il pillar tecnico Safety si propone il miglioramento continuo dell'ambiente di lavoro e l'eliminazione delle condizioni che potrebbero generare infortuni e incidenti. Tali obiettivi possono essere raggiunti diffondendo la cultura della sicurezza a tutti i diversi livelli organizzativi. Il lavoratore deve essere posto nella condizione di lavorare senza esporsi al rischio di incidenti, in un luogo di lavoro dotato di accorgimenti e di strumenti atti a fornire un ragionevole livello di protezione.

Le principali attività svolte per garantire la sicurezza ai lavoratori possono essere:

- Analisi del processo: partendo dal processo verifico su ogni attività se ci sono dei rischi relative a incidenti, quasi incidenti, condizioni o azioni insicure.
- Monitoraggio del processo: si costruisce una matrice per tenere traccia della rilevanza di tutti gli incidenti, quasi incidenti, condizioni o azioni insicure.

Per poter classificare l'evento legato alla sicurezza, si usa la piramide di Heinrich. Questo strumento raggruppa gli eventi anomali in sette livelli di gravità crescente.

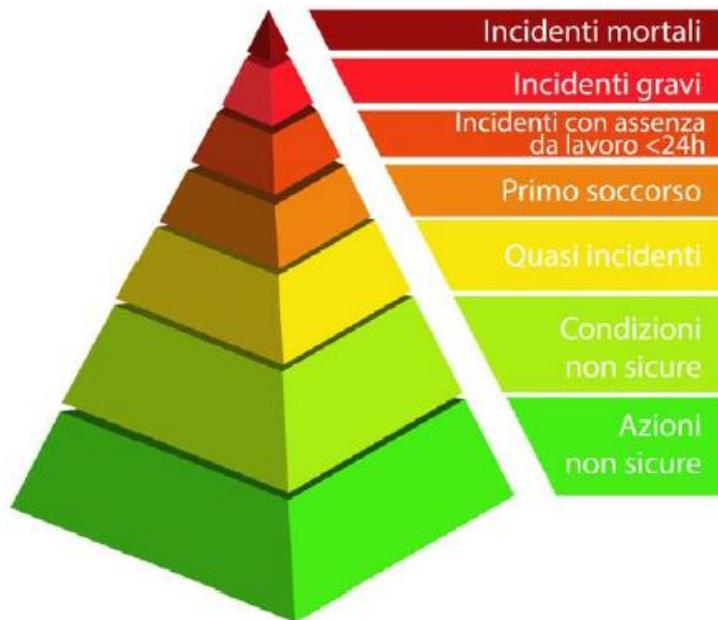


Figura 6: Piramide di Heinrich

Un'azione non sicura è determinata da un comportamento non corretto dell'operatore cioè il non rispetto delle regole e procedure dello stabilimento. Essa può causare per esempio una situazione di pericolo sia sulla postazione di lavoro o nella fabbrica.

Una condizione di non sicurezza è una situazione di pericolo presente nella postazione di lavoro o in luoghi comuni. Essa nasconde un potenziale infortunio. Per questo motivo è molto importante metterla in evidenza segnalandola al proprio responsabile, di modo ci si attivi prontamente per l'eliminazione di tale condizione.

Un quasi incidente rappresenta un evento che si è verificato, che aveva la potenzialità di diventare un incidente ma che fortunatamente non ha provocato infortunio. Ad esempio un inciampo o un urto accidentale (anche di lieve entità). E' molto importante mettere in evidenza tale tipologia di evento in quanto esso nasconde un potenziale infortunio che in futuro potrebbe avere entità ben maggiore.

Per affrontare i problemi di sicurezza nell'organizzazione dello stabilimento è necessario fare un'analisi accurata non solo degli incidenti più gravi ma anche di quelli della parte bassa della

piramide di Heinrich. In particolare, per incidere sui contenuti della parte bassa della piramide, prerequisito fondamentale per mantenere sotto controllo la parte alta, è necessario passare da un approccio reattivo a un approccio proattivo. In questo senso bisogna stimolare le persone, oltre ad attenersi all'applicazione delle norme e all'uso degli equipaggiamenti di protezione previsti, a partecipare alla segnalazione dei problemi e dei rischi potenziali, alla proposta di soluzioni nonché alla partecipazione nelle attività di rimozione delle cause, il tutto attraverso lo sviluppo di una cultura della sicurezza nelle persone e lo svolgimento di tutte le attività per rendere gli impianti sicuri. Obiettivo del pilastro *Safety* è dunque azzerare il numero di infortuni e ciò richiede lo sviluppo di una cultura della prevenzione, il miglioramento dell'ergonomia del posto di lavoro e lo sviluppo di competenze adeguate alla eliminazione delle condizioni per potenziali incidenti e infortuni.

Il pilastro della safety è suddiviso come segue:

- Fase Reattiva (Step 1-3): si esaminano gli eventi avvenuti in passato al fine di trovare le cause per mettere in pratica le giuste contromisure; si procede con l'analisi degli eventi accaduti all'interno dello stabilimento in materia di sicurezza e a predisporre le contromisure necessarie.
- Fase Preventiva (Step 4-5): vengono create le condizioni all'interno del posto di lavoro affinché non possano verificarsi nuovi incidenti e interventi di medicazione. Formazione degli operatori per evitare comportamenti che possano portare a infortuni;
- Fase Proattiva (Step 6-7): standardizzazione e sistematizzazione delle azioni autonome che contribuiscono alla sicurezza dell'ambiente di lavoro. Avviene il coinvolgimento totale degli operatori, infatti negli step avanzati del pilastro le attività di miglioramento delle condizioni di sicurezza all'interno dello stabilimento devono partire dai livelli più bassi e non più esclusivamente dal management.

1.2.2 COST DEPLOYMENT

Il Cost Deployment è una metodologia che definisce in modo scientifico e sistematico un programma di riduzione costi basato sulla cooperazione di risorse di Produzione e Finance. Per poterlo fare, c'è la necessità di sapere in quali processi si verificano più sprechi e perdite al fine di attaccarli con azione di miglioramento. Il CD può essere definito come la bussola del WCM perché orienta le azioni di miglioramento sulle priorità in termini di attacco sprechi e perdite.



Figura 7: Cost Deployment, bussola dell'azienda

Così come gli altri pilastri, il Cost Deployment segue un percorso in sette step, e in questo caso, ogni step è descritto da una matrice ben specifica.

Matrice A: permette di identificare di maniera qualitativa e quantitativa perdite e sprechi nei vari processi. Cioè ci fa sapere esattamente dove si può rilevare una perdita e ci dà una su una misura qualitativa e quantitativa di sprechi e perdite.

Matrice B: identifica le reali sorgenti delle perdite, cioè suddivide le perdite in causali e risultanti, e evidenzia la relazione esistente fra le une e le altre, processo per processo. Lo scopo dell'attività è identificare le cause di ciascuna perdita in ciascun processo.

Matrice C: trasforma le perdite identificate nella matrice B in valore economico, mettendo in luce le perdite che hanno maggiori costi.

Matrice D: permette di scegliere il metodo adeguato per eliminare le perdite con maggior costi riportate nella matrice C.

Matrice E: fornisce informazioni su ogni progetto scelto, valutando i costi e benefici di ogni progetto.

Matrice F: una volta avviato i progetti di miglioramento, questa matrice effettua il monitoraggio degli stessi redigendo il Piano di miglioramento e gestendone gli avanzamenti.

Matrice G: costituisce il legame tra progetti e budget per verificare se il piano è migliorabile, quindi consiste nel mettere in relazione i *saving* realizzati al budget dello stabilimento.

1.2.3 FOCUSED IMPROVEMENT

È un pilastro molto correlato al Cost Deployment perché va ad eliminare le voci di perdita evidenziate nel CD che hanno un impatto sul budget e sui KPI dell'azienda. In questo modo, le organizzazioni si concentrano sulle perdite rilevanti e non sprecano risorse su problemi di minore importanza. L'obiettivo principale del pilastro consiste nell'eliminazione delle perdite maggiormente significative

riscontrate con il Cost Deployment. Il Focused Improvement contribuisce quindi con il Cost Deployment ad indirizzare le risorse di stabilimento verso le reali criticità individuate, evitando quindi un utilizzo di risorse poco utile ed efficace.

Il Focused Improvement affronta i problemi attraverso un sistema che attacca le cause di ogni perdita alla radice eliminandolo completamente, così facendo, non c'è più possibilità che tale problema si verifica nel futuro. L'attacco dei problemi avviene attraverso approccio PDCA (Plan, Do, Check, Act) come illustrato nella figura 8.

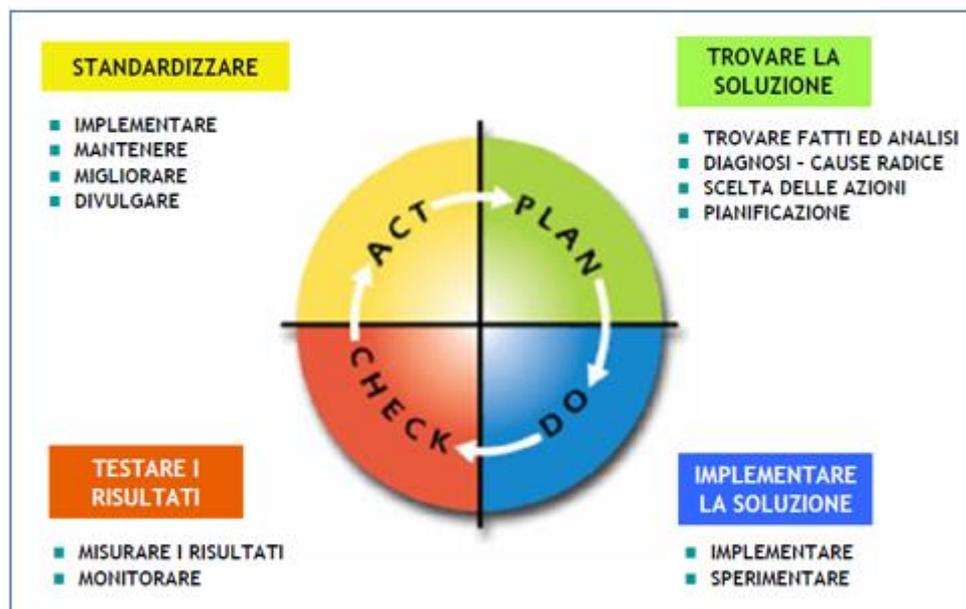


Figura 8: approccio PDCA

I sette step del percorso di realizzazione di questo pilastro sono equiparabili alle fasi del ciclo PDCA. In particolare:

- *Step 1, 2 – Plan:* l'obiettivo è quello di individuare le perdite su cui intervenire e capire il problema. Ciò si può fare attraverso attività di stratificazione e devono integrarsi in modo crescente con il *Cost Deployment*.
- *Step 3, 4, 5 – Do:* hanno il fine di selezionare i problemi sui quali intervenire, definire il team di progetto, pianificare il progetto, selezionare gli strumenti di *Focused Improvement* adatti alla soluzione del problema e di identificare le cause e le soluzioni.
- *Step 6 – Check:* è finalizzato a verificare la soluzione implementata attraverso l'analisi costi/benefici.
- *Step 7 – Act:* ha lo scopo di standardizzare la nuova soluzione implementata, creando conoscenza e di espanderla orizzontalmente.

1.2.4 AUTONOMOUS ACTIVITIES

L'obiettivo principale di questo pilastro è di non avere perdite dovute alla mancanza di condizioni base sia dei processi labour che capital intensive. Questo pilastro si suddivide in due attività:

Autonomous Maintenance

Workplace Organization

1.2.4.1 AUTONOMOUS MAINTENANCE

L'obiettivo generale del pilastro consiste nell'azzeramento di guasti dovuti a mancanza di condizioni di base sui macchinari.

Durante la fase reattiva del pilastro vengono realizzate tutte le attività necessarie a riportare i macchinari nelle condizioni di base previste. Vengono quindi eseguite attività di pulizia sui macchinari così come la ricerca delle fonti di sporco e di contaminazione. La manutenzione autonoma è una di quelle attività con lo scopo di prevenire i guasti degli impianti e le micro-fermate quando quest'ultimi si verificano a causa del mancato mantenimento delle condizioni di base dei macchinari. Come si vede nella figura sottostante, con una semplice pulizia del macchinario, si possono notare tante cose che possono causare un guasto macchina.

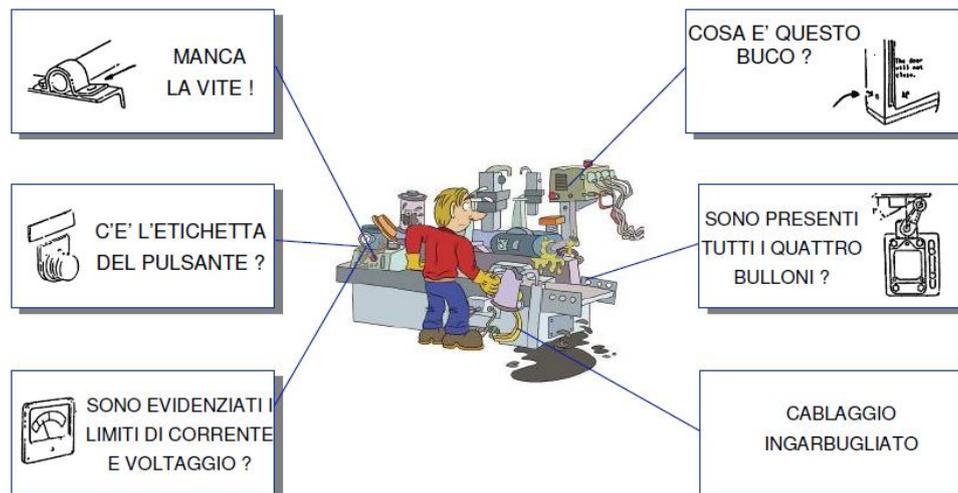


Figura 9: Ripristino delle condizioni di base

La manutenzione autonoma consiste dunque, nell'attività svolta dagli operatori di produzione attraverso la cura quotidiana degli impianti affidati, che consiste nel:

- Ristabilire le condizioni di base degli impianti.
- Fermare il deterioramento accelerato.
- Sviluppare le competenze sul prodotto e sull'impianto.
- Definire e realizzare i cicli di mantenimento.
- Creare posti di lavoro tali da eliminare anomalie, fermate e difetti di qualità.

Dunque, l'Autonomous Maintenance si occupa di incrementare l'efficienza globale degli impianti e la qualità dei prodotti, di migliorare la vita delle macchine attraverso il coinvolgimento e la collaborazione delle persone.

Il suo percorso in sette step è il seguente:

Step 1: riportare gli impianti alle condizioni di base;

Step 2: individuare le sorgenti di contaminazione e implementare le relative contromisure;

Step 3: prevenire quindi il deterioramento forzato ottimizzando il primo standard di manutenzione autonoma;

Step 4 e Step 5: iniziare ad individuare sulle macchine le condizioni per la qualità del prodotto e provare a migliorare l'attuale standard di manutenzione autonoma, rendendolo più efficiente;

Step 6 e Step 7: apprendimento da parte degli operatori delle nuove regole e modalità al fine di riuscire a continuare a svolgere le attività di manutenzione autonoma in modo indipendente.

I primi tre step hanno dunque lo scopo di generare un cambiamento nelle macchine, il quarto e il quinto step sono finalizzati a generare un cambiamento nelle persone, in quanto le ispezioni vengono condotte direttamente dagli operatori e ciò porta a comprensione e assunzione di responsabilità verso ciò che si sta controllando. Gli ultimi due step hanno lo scopo di determinare un cambiamento duraturo nella gestione della manutenzione, in quanto l'addetto diventa responsabile della propria area di lavoro in termini di qualità e affidabilità delle macchine

1.2.4.2 WORKPLACE ORGANIZATION

L'altra attività autonoma è la Workplace Organization, che ha come obiettivo un'alta efficienza di ogni postazione di lavoro attraverso criteri tecnici, strumenti e metodi in grado di garantire un posto di lavoro ideale per avere la qualità migliore, la massima sicurezza e il massimo valore.

Ripristinare e mantenere le condizioni di ordine e pulizia nell'area di lavoro, curare l'addestramento degli operatori, migliorare le condizioni ergonomiche sono i principali compiti del pillar tecnico WO. Durante la fase reattiva vengono realizzate le attività per riportare la linea in condizioni ottimali.

Nei primi step vengono quindi applicati concetti quali le 5S per ottenere una postazione/linea pulita, ordinata ed organizzata, attraverso le seguenti attività

- Separare (Seiri): per separare materiale utile da quello che non lo è.
- Ordinare (Seiton): mettere in ordine tutto il materiale presente nell'area di lavoro.
- Pulire (Seiso): un posto pulito permette di rilevare facilmente anomalie.
- Mantenere e migliorare (seiketsu): definisci delle metodologie ripetitive da utilizzare per rispettare le condizioni base nelle aree di lavoro.
- Standardizzare (Shitsuke): espandere il modo di agire in tutte le attività dell'azienda.

La logica che sta dietro a questa metodologia è *“un posto per ogni cosa e ogni cosa al suo posto”*



Figura: 10 le 5S

Viene poi riordinato il processo al fine di avere una linea dove si lavora in modo sicuro, facile, efficace senza perdite di tempo in modo tale da eliminare tutti gli sprechi. Ciò avviene attaccando le 3M.

Le 3 M sono:

Muri: sono movimenti e operazioni che causano fatica.

Mura: sono operazioni e movimenti irregolari che possono generare impatti negativi sulla qualità

Muda: sono attività a non valore aggiunto, cioè Attività che non il cliente non è disposto a pagare perché non portano nessun cambiamento al prodotto finale.

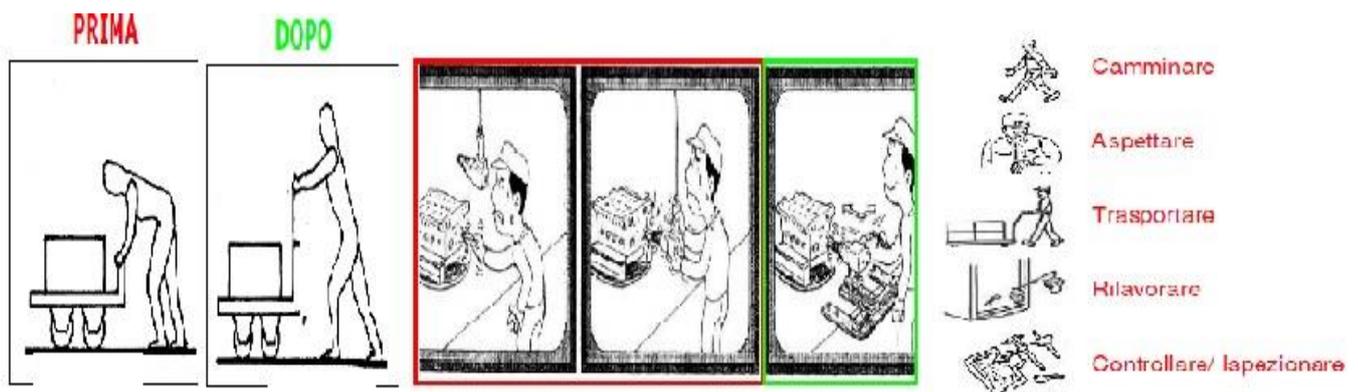


Figura 11: Muri, Mura, Muda

Dopo aver eliminato MURI MURA MUDA l'obiettivo successivo è di creare gli standard e di eliminare le perdite per d'insaturazione e sbilanciamento della linea.

Durante la fase preventiva il pilastro Workplace Organization interagisce con il Quality Control per la determinazione di strumenti per garantire la qualità del processo sulle linee di lavorazione e con la Logistica per garantire le migliori tecniche di asservimento delle linee.

Negli step proattivi vengono sviluppate tecniche di Low Cost Automation e di Motion Economy così da migliorare ulteriormente i risultati ottenuti nelle fasi precedenti.

1.2.5 PROFESSIONAL MAINTENANCE

L'obiettivo della manutenzione professionale è massimizzare l'affidabilità e la disponibilità delle macchine, eliminando gli interventi di manutenzione straordinaria al fine di raggiungere l'obiettivo zero guasti (perdite).

Il pilastro tecnico Professional Maintenance si riferisce alle attività finalizzate alla costruzione di un sistema di manutenzione capace di azzerare i guasti e le micro fermate delle macchine e degli impianti e di ottenere risparmi e aumento di efficienza delle macchine, prolungando il ciclo di vita delle macchine attraverso l'utilizzo di pratiche di manutenzione capaci di allungare la vita dei componenti. Professional Maintenance si occupa dunque del controllo e dell'analisi dei guasti, organizzando dei piani sostenibili di Manutenzione Pianificata, sostenendo gli addetti della Autonomous Maintenance attraverso l'aumento delle competenze di ispezione.

Sempre nell'ottica di un miglioramento continuo, si è passato da una manutenzione a guasto, poi una manutenzione basata sul tempo (TBM), per finalmente arrivare ad una manutenzione basata sulla condizione (CBM).

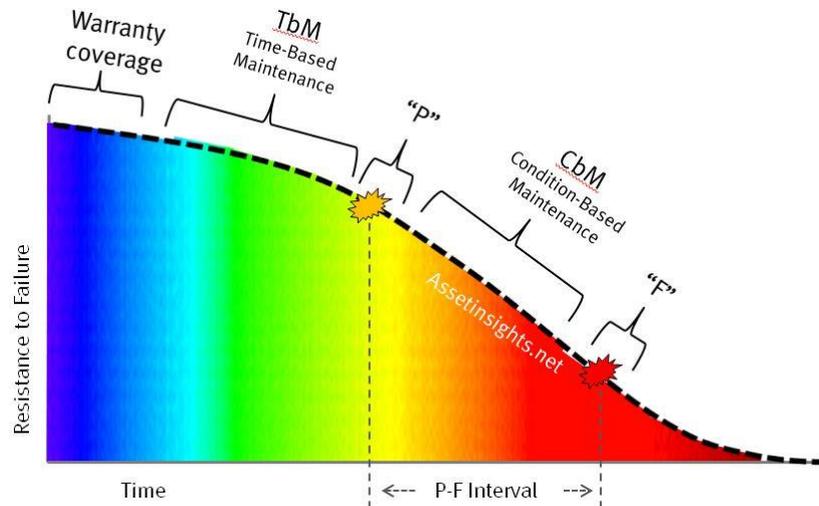


Figura 12: trend manutenzione-guasto

Come il Focused Improvement, la Manutenzione Autonoma e Early Equipment, la Manutenzione Professionale fa parte del processo di miglioramento continuo dello stabilimento. E per farlo, si fa uso dei sette step:

- I primi tre step hanno come obiettivo di stabilizzare il MTBF (Mean Time Between Failure) attraverso l'eliminazione e la prevenzione del degrado accelerato delle macchine.
- Lo step 4 e 6 ha come scopo l'allungamento della vita del componente attraverso attività di manutenzione preventiva.
- Step 5 ha lo scopo di ripristinare il deterioramento in modo periodico attraverso la costruzione di un sistema di manutenzione preventiva.
- Step 7 ha lo scopo di istituzionalizzare il sistema di manutenzione, di gestirlo e di valutarlo.

1.2.6 QUALITY CONTROL

Il pilastro tecnico *Quality Control* persegue l'obiettivo della soddisfazione del cliente riducendo al minimo i costi dovuti ad anomalie di qualità definendo condizioni idonee al raggiungimento del traguardo degli zero difetti con nessun costo aggiunto per la qualità. La qualità si riesce a migliorare solo se si riesce a passare da una logica di controllo del prodotto ad una logica di controllo del processo, cioè facendo i controlli sul prodotto durante tutta la sequenza di operazione (che possono essere legati all'uomo, alla macchina ecc.) che sono a monte di quella di lavorazione vera e propria del componente, e non un collaudo finale dopo aver prodotto il pezzo. Così facendo, si riesce a individuare e a eliminare le cause radici dei difetti a monte della lavorazione e non a valle durante la fase di collaudo.

Per raggiungere questo obiettivo, uno degli strumenti più importanti del pilastro QC è la QA Matrix, che dà priorità alle anomalie di qualità:

La QA Matrix, che correla le non conformità, le cause radice che le hanno generate e il processo di produzione che le ha generate. Tutti i difetti presenti nella QA Matrix possono essere dovuti a 4 tipi di cause principali che sono le 4M (Man, Machine, Material, Method). Quando un difetto è dovuto alla Macchina si fa ricorso ai sette step della *Quality Maintenance* per risolverlo, mentre quando dovuto all'uomo, Metodo e Materiale, si utilizzano i sette step del Problem Solving.

Altri matrici che vengono in aiuto sempre con lo scopo di ottenere un componente di qualità sono la X Matrix e la Quality Maintenance Matrix. La prima ci serve per la correlazione tra difetto, fenomeno fisico, componenti macchina e parametri macchina, la seconda invece permette di visualizzare, per tutti i parametri correlati al difetto indicati nella *X Matrix*, i valori nominali con le rispettive tolleranze, il sistema di controllo, la frequenza di controllo, il responsabile del controllo, allo scopo di garantire il corretto funzionamento dell'impianto e di ottenere quindi le condizioni per zero difetti.

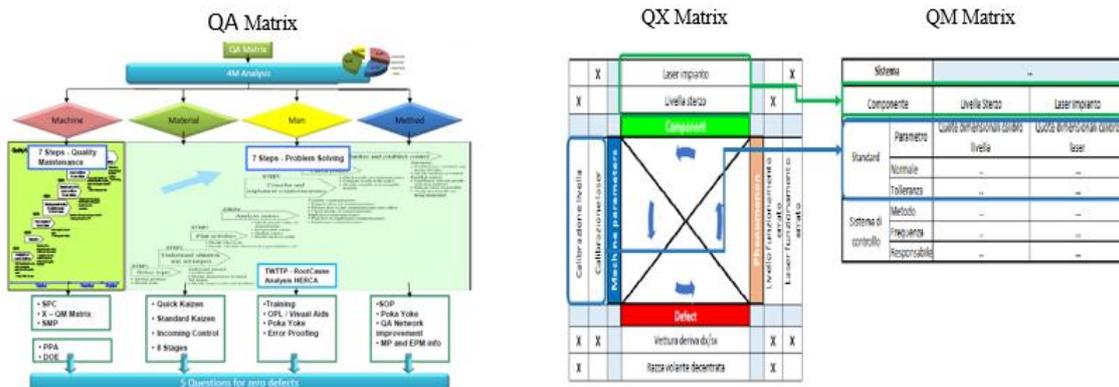


Figura 13: Matrici quality control

1.2.7 LOGISTICS & CUSTOMER SERVICE

La logistica assume un ruolo fondamentale dato che permette di gestire al meglio il flusso del processo produttivo a livello aziendale. Una buona logistica significa:

- Ridurre la movimentazione di materiale: ogni volta che si muove del materiale abbiamo dei costi in più.
- Ridurre le scorte.
- Aumentare la produttività attraverso una migliore asservimento dei materiali sulla linea: in questo caso, la logistica sposa il concetto di “Golden Zone” relativo alla Workplace Organization.

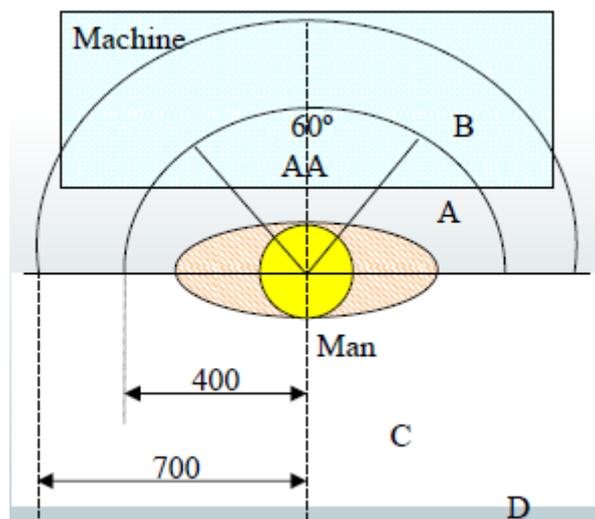


Figura 14: Golden Zone

I principali obiettivi del pilastro LCS sono i seguenti:

- Sincronizzare produzione e vendite per soddisfare il cliente: cioè riuscire a produrre esattamente ciò che è necessario per soddisfare il cliente, al momento giusto e nella quantità esatta. Comporta la minimizzazione dei semilavorati attraverso il concetto del ONE PEACE FLOW e la riduzione dei tempi di consegna (Lead Time), passare da un flusso produttivo *Push* (la produzione si basa su previsione della domanda) a un flusso *Pull* (la produzione si basa sulla richiesta reale del cliente) attraverso la logica *Just In Time* (JIT).
- Minimizzare la movimentazione del materiale: chiama in causa il Mixed Delivery, che è un sistema di movimentazione che permette di approvvigionare molte postazioni con un solo giro di materiale.

- Creare flussi regolari attraverso la riduzione delle scorte: per ridurre la quantità di semilavorati e pezzi finiti in magazzino, viene utile la logica PULL cioè produrre solo ciò che richiesto dal mercato, in quantità giusta e al momento giusto.

Nei primi step del pilastro vengono realizzate attività volte alla creazione di un flusso. Si procede quindi con la reingegnerizzazione delle linee al fine di soddisfare il cliente applicando principi quali il Minimum Material Handling, il FIFO (First In First Out) e il sistema Pull. Sempre all'interno di questa fase vengono svolte attività per il miglioramento della logistica sia interna allo stabilimento sia esterna, ad esempio mediante l'applicazione del Milk-Run.

Successivamente si procede con la creazione di un flusso regolare, ottenibile grazie ad ulteriori miglioramenti nella logistica interna ed esterna, ma anche grazie al livellamento della produzione.

Successivamente l'obiettivo è la creazione di un flusso accurato, nel quale si raggiunge un alto livello di integrazione tra la rete di vendita, la produzione e gli acquisti.

Infine ci si propone il raggiungimento di un flusso controllato, nella quale si è in grado di realizzare programmazioni a sequenze e tempi fissi.

1.2.8 EARLY EQUIPMENT/PRODUCT MANAGEMENT

Il pilastro si suddivide in due sotto pilastri:

1.2.8.1 EARLY EQUIPMENT MANAGEMENT

Il pilastro *Early Equipment Management* ha come obiettivo quello di prendere tutte le esperienze degli altri pilastri e portarle all'interno della progettazione di un nuovo impianto, in modo da indentificare tutti i problemi durante la fase di progettazione "*front loading concept*", risolvere questi problemi al fine di avere uno start up stabile e verticale.

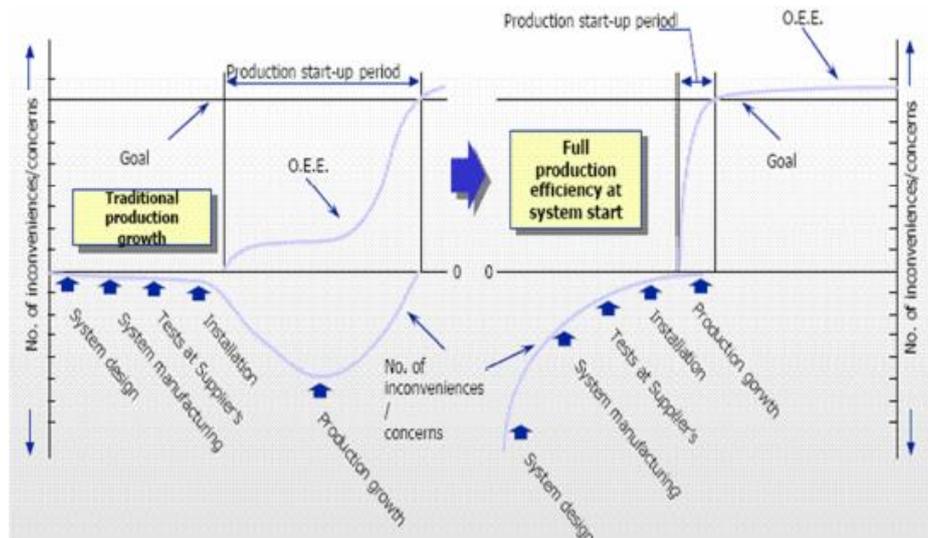


Figura 15: avviamento verticale

Tutte le esperienze maturate sugli altri pilastri che mi permettono di migliorare un nuovo progetto sul processo di produzione si chiamano Maintenance Prevention Info (MP info).

I concetti base che sono all'interno del EEM sono:

- Il QA Design (Quality Assurance Design): sono tutti gli elementi da inserire nel momento in cui si va a comprare una nuova macchina per garantire che quella macchina produca prodotti di qualità. Per fare una buona QA Design, è importante sapere quali sono le caratteristiche del prodotto che si vuole realizzare.
- Life Cycle Cost: può essere definito come una somma di due fattori Initial Cost (IC) e Running Cost (RC)
- Life Cycle Profit

Early Equipment Management consiste, quindi, nell'acquistare un nuovo macchinario da introdurre nel processo attraverso il concetto di *concurrent engineering*, cioè la collaborazione tra progettisti, fornitori del macchinario e produzione al fine di:

- Installare macchinari con elevata qualità d'uso e affidabili;
- Ridurre il *Life cycle cost* del macchinario;
- Velocizzare la messa a regime del nuovo macchinario.

1.2.8.2 EARLY PRODUCT MANAGEMENT

Questo pilastro invece si occupa del lancio di nuovi prodotti. La collaborazione tra progettisti, fornitori del prodotto e ingegneri di produzione è utile per:

- Introdurre velocemente i nuovi prodotti nel processo produttivo;
- Ingegnerizzare prodotti e processi;
- Velocizzare la messa a regime della nuova produzione

1.2.9 PEOPLE DEVELOPMENT

Questo pilastro tecnico si riferisce allo sviluppo delle persone, che è un fattore fondamentale di competitività per il raggiungimento dell'eccellenza. Le attività di questo pilastro tecnico devono garantire, attraverso un sistema di formazione ben strutturato, che la persona abbia le competenze adeguate per ricoprire il ruolo assegnato. L'aumento delle competenze delle persone rappresenta un aspetto molto importante per la crescita del WCM nello stabilimento, in quanto, il conseguimento dei risultati prefissati dipende dalle persone. *People Development* crea nello stabilimento un sistema di espansione delle competenze delle persone, ed è fondato sulla valutazione dei gap di competenze e sulla definizione delle modalità formative per colmare tali gap e sullo sviluppo di adeguati percorsi di apprendimento.

Il pilastro del PD è funzionale al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Azzerare gli errori umani, ossia fare in modo che le persone e i sistemi tecnici lavorino in perfetta sintonia, al fine di assicurare sempre la correttezza dei processi;
- Sviluppare professionalità tecniche di alto livello capaci di analizzare lo stato attuale degli impianti, di sviluppare lo stato atteso e quindi di implementare un sistema di manutenzione efficiente ed efficace;
- Fare in modo che gli operatori possiedano maggiori competenze al fine di:
 - Realizzare manutenzione autonoma sulle macchine di propria competenza;
 - Guidare il miglioramento delle condizioni di lavoro;
 - Proporre soluzioni di modifica prodotto/processo al fine di incrementare l'efficienza della linea;
 - Individuare/risolvere immediatamente eventuali difettosità generate a monte della propria postazione

- Raggiungere un buon controllo del processo attraverso l'adozione, da parte degli operatori, delle procedure corrette di Quality Control;
- Motivare e coinvolgere le persone verso l'assunzione di responsabilità nei confronti del miglioramento continuo;
- Individuare e sviluppare le Exceptional People, persone che devono essere in grado di trovare soluzioni innovative per identificare e ridurre, con approccio proattivo, le nuove perdite del Plant.

Tutte queste sfide fanno in modo che un operatore possa essere sostituito da un altro in caso di assenza, oppure che l'operatore sia in grado di utilizzare un'altra macchina nel caso in cui quella su la quale sta lavorando fosse guasta.

Il percorso di miglioramento continuo di questo pilastro è basato come tutti gli altri pilastri della WCM sui suoi sette step.

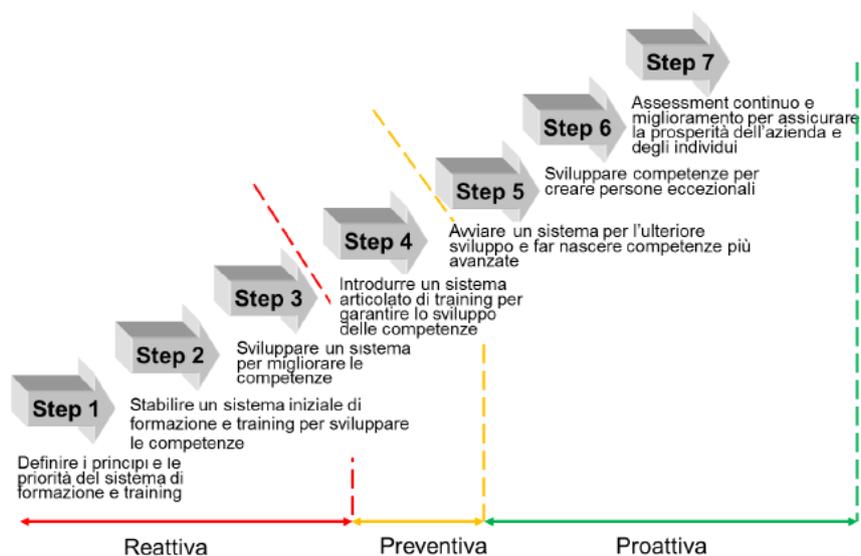


Figura 16: sette step PD

La fase reattiva del pilastro tecnico *People Development* è costituita dagli step 1, 2 e 3. In questa fase si individuano le principali perdite individuate nelle matrici di priorità, ci si focalizza sulla eliminazione degli errori umani, e si interviene con azione di training laddove necessario. Si valutano quindi costi e i benefici dei training da attuare. Quindi si possono riassumere con un piano PDCA (figura 17).

Nella fase preventiva, rappresentata dallo step 4, l'obiettivo è definire un sistema di Sviluppo delle competenze che permetta di coprire correttamente il ruolo (generali, tecniche e WCM). L'obiettivo è implementare un sistema di training che riesca a colmare i gap di ciascuna

Risorsa preventivamente, prima che problemi per mancata conoscenza insorgano.

Nella fase proattiva che è costituita dai step 5, 6 e 7, ci si concentra sullo sviluppo delle competenze strategiche per il plant guardando alle priorità future, allo sviluppo della leadership e soft skills, puntando allo sviluppo di persone eccezionali a tutti i livelli. Sullo sviluppo delle competenze necessarie



Figura 17: approccio PDCA fase reattiva

Questo pilastro ha anche come priorità la formazione di un'organizzazione in grado di supportare l'applicazione del programma WCM e la costituzione di adeguati team di lavoro. Questo viene fatto attraverso una formazione a tutti i livelli dello stabilimento: dai Plant Manager, fino agli operatori.

1.2.10 ENVIRONMENT & ENERGY

Il decimo pilastro tecnico è nuovamente diviso in due sotto pilastri:

- Environment
- Energy

1.2.10.1 ENVIRONMENT

Il primo sotto pilastro dell'Environment ha L'obiettivo di implementare di un efficace sistema gestionale in materia ambientale in grado di promuovere la cultura del rispetto ambientale all'interno dello stabilimento e di mettere in atto progetti di miglioramento così da migliorare i KPI ambientali di stabilimento.

Durante la fase reattiva del pilastro si procede con le attività necessarie all'ottenimento della conformità legale, oltre alla riduzione degli impatti ambientali presenti all'interno dello stabilimento. Nella fase preventiva vengono svolte analisi economiche sulle attività di miglioramento da realizzare per il miglioramento dei KPI di pilastro.

Infine nella fase proattiva lo stabilimento deve mettere in atto diverse attività per diventare "Green Factory", ovvero uno stabilimento in grado di coniugare l'attività produttiva con il rispetto dell'ambiente.

Particolare attenzione viene rivolta al coinvolgimento dei lavoratori, che deve essere sempre maggiore con il procedere delle attività di pilastro.

Come per il pilastro della safety anche nell'environment si usa Piramide Ambientale La piramide ambientale per raccogliere e classificare le emergenze/anomalie che periodicamente avvengono nello stabilimento.

Ogni evento può essere eliminato solo se viene rimossa la causa radice che lo ha prodotto, altrimenti la soluzione non sarà risolutiva e il problema potrebbe ripresentarsi. Lo strumento utilizzato per questa analisi è il modulo ERCA (Environment Root Cause Analysis) che è composto da 4 sezioni tipiche dei progetti di miglioramento focalizzati (PDCA).

La classificazione degli eventi è fondamentale per capire lo stato di avanzamento nelle attività di estensione e di approccio alla gestione del rischio di un stabilimento. La presenza infatti di eventi relativi ai primi livelli superiori denota un'attività ancora incentrata su una fase reattiva dove i miglioramenti avvengono a seguito della risoluzione di un evento accaduto

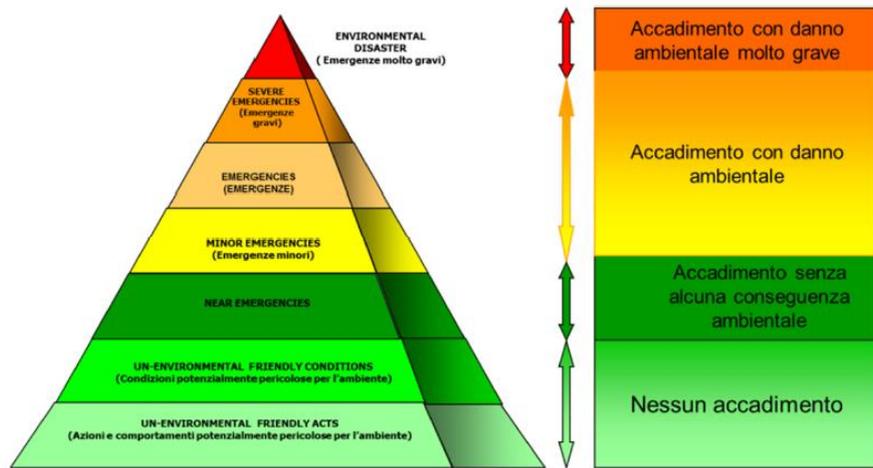


Figura 18 Piramide ambientale

1.2.10.2 ENERGY

Il Pilastro Energia ha l'obiettivo di incrementare la capacità di identificare e realizzare iniziative intese a ridurre gli sprechi e migliorare l'efficienza energetica.

Le perdite sono valutate per tutti i vettori energetici che utilizzano gli stabilimenti. Tale metodo prevede una realizzazione a partire da una area modello, scelta sulla base dei consumi ed espandibilità per estendersi successivamente fino a coprire tutto lo stabilimento in termine di flusso energetico.

- Nello **step 1** si parte dalla scelta dell'area/e modello basandosi sui consumi e possibilità di espansione.
- **Step 2** si passa all'analisi partendo dalle aree modello.
- **Step 3** sulla base delle necessità di valutazione dei consumi e perdite per gli impianti specifici, si fa un'analisi dei sistemi di misura esistenti e se necessario si scelgono altri punti di misura e metodi adatti.
- Nello **step 4** si analizzano tutti i dati degli steps precedenti per identificare le perdite e definire la struttura dei consumi.
- **Step 5**, è quello più importante per il fatto che viene completato il Cost Deployment di Energia e vengono sviluppati i progetti per attaccare le perdite.
- Si passa poi allo **step 6** (standardizzazione) per concludere con lo **step 7**, in cui si applica l'espansione orizzontale e il concetto di miglioramento continuo alla ricerca di soluzioni innovative.

1.3 PILASTRI MANAGERIALI

Accanto ai 10 pilastri tecnici, vi sono 10 manageriali che hanno l'obiettivo di rendere efficace l'implementazione del programma nello stabilimento in quanto garantiscono speed and space. Sono raggruppati in 3 principali cluster.

Come vedremo nel dettaglio, ogni pilastro manageriale è suddiviso in 5 sotto-criteri (che sono i vari punti da prendere in considerazione al fine di sfruttare al meglio il pilastro).

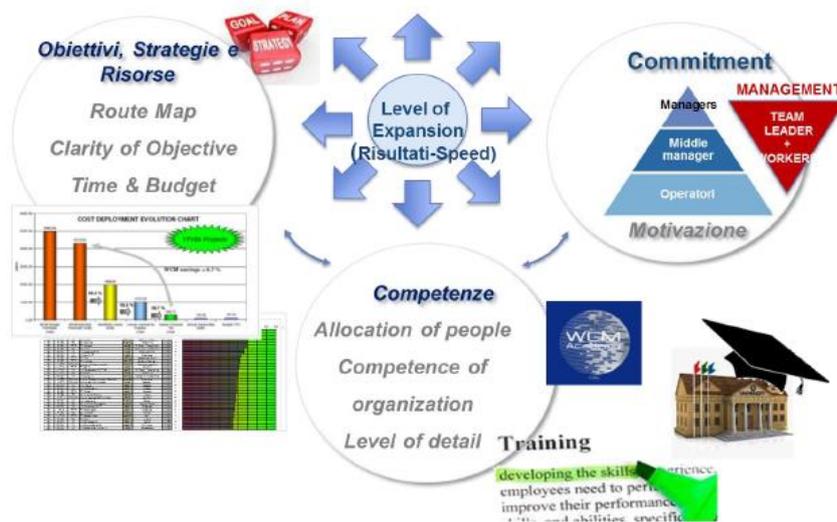


Figura 19: piani fattoriale pilastri manageriali

1.3.1 OBIETTIVI, ROUTEMAP, TIME & BUDGET

In questo cluster sono raggruppati i pilastri manageriali che definiscono la strategia di sviluppo del programma WCM. Essi sono: Clarity of Objective, RouteMap e Time & Budget.

1.3.1.1 CLARITY OF OBJECTIVES

Tutte le persone all'interno di un'organizzazione devono essere consapevoli degli obiettivi aziendali e devono essere parte attiva del loro raggiungimento. Questo pilastro è costituito dai seguenti sotto-obiettivi:

- **Objective:** gli obiettivi devono essere definiti in modo chiaro e quantificabile. Essi devono essere SMART.
- **Measurement:** partendo dagli obiettivi si definisce un sistema di raccolta dati e un sistema di misura con i rispettivi KPI **Deployment:** i target di stabilimento devono essere deplorati all'interno di ogni pilastro e su tutto lo stabilimento.
- **Evaluation:** i risultati delle attività devono essere rilevati e quantificati in termini economici
- **Communication:** La comunicazione nello stabilimento si sviluppa con logiche integrate per raggiungere tutti gli attori interessati, sia interni che esterni.

1.3.1.2 ROUTE MAP

La route map esplicita la strategia, le attività che servono per arrivare agli obiettivi sopracitati.

- **Policy/Strategy:** permette di saper se c'è una coerenza visibile tra obiettivi e attività del plant, cioè se gli obiettivi dello stabilimento sono allineati agli obiettivi di business sul medio/lungo periodo.
- **Education/training:** Sistema pianificato di training che man a mano va a formare le persone sulle competenze necessarie per portare avanti il Programma
- **Production Engineers.** Sono gli ingegneri di produzione in grado di lavorare su progetti complessi volti a raggiungere IPS
- **Toward the Ideal production System (IPS):** è una visione che guida la pianificazione dei progetti verso una produzione con performance eccellenti in termini di sicurezza, costi, qualità e tempi di consegna. **Benchmarking:** il benchmark interno ed, esterno è fondamentale per identificare riferimenti eccellenti.

1.3.1.3 TIME & BUDGET

Mette a disposizione le risorse in termine di tempo e soldi.

- **Time:** Traccia in termini di tempo l'andamento dei progetti in modo tale che se ci sono dei ritardi, si possa identificare la causa radice di quei ritardi e poi trovare una soluzione.
- **Budget:** dà una visione su quante e che tipo di risorse bisogna dedicare ai vari progetti, e questo viaggia in parallelo con quello annuale, in modo da avere una stima di tutti i costi dell'azienda.
- **Follow up:** viene fatto tramite un'analisi preventiva e consuntiva degli scostamenti rispetto al Target. Viene anche eseguita un'analisi B/C per ciascun progetto. EEM/EPM: Applicare il concetto del Front Loading grazie ai pilastri EEM ed EPM al fine di ridurre il tempo di progettazione, installazione dei processi prima dell'inizio di un impianto o della produzione di un nuovo prodotto. Quindi più sono bravo a ridurre quel Lead time, più sono flessibile.
- **Response/Lead Time:** gestione e misura dei tempi di risposta e di implementazione attività. Tenere traccia, cioè misurare il Lead time di un processo critico.

1.3.2 COMMITMENT

Una volta definiti obiettivi e strategia, per poter portare avanti le attività, è necessario il commitment a tutti i livelli dello stabilimento: cioè il necessario supporto da parte dei leader e degli operatori per poter applicare al meglio il Programma WCM.

1.3.2.1 MANAGEMENT COMMITMENT

L'impegno del Top Management è fondamentale dato che è lui il responsabile della formazione dei dipendenti affinché acquisiscano le competenze e capacità necessarie per svolgere il proprio ruolo. Il pilastro è organizzato nei seguenti sotto-obiettivi:

- **Alignment of organization:** il management sviluppa l'organizzazione al fine di implementare il programma WCM.
- **Understanding:** Il Management sviluppa la capacità di analizzare i problemi e partecipa attivamente alle attività dei Pilastri.

- Leadership: è importante che ci sia la comprensione da parte del plan manager dei vari pilastri della WCM e i benefici che questi portano. Il modello di Leadership è impostato tenendo conto dei bisogni del WCM: saper guidare le persone e gestire il cambiamento
- Meeting/Auding: Permette di discutere sulle criticità avvenute e su come sono state affrontate con gli strumenti del WCM, quindi assicura un adeguato coordinamento e controllo delle attività di WCM.
- Unification: La comprensione che il plan manager deve avere sulla WCM è molto in relazione a come i pilastri si integrano tra loro, come devono lavorare assieme per portare i risultati.

1.3.2.2 COMMITMENT OF THE ORGANIZATION

Oltre al *commitment* da parte del management, è necessario anche l'impegno di tutta l'organizzazione con un focus sul Supervisor per poter raggiungere i risultati attesi. Il *commitment* dell'organizzazione è articolato nei seguenti sotto-criteri.

- Mindset: Capacità delle persone di riconoscere che ci sono dei problemi e delle opportunità di miglioramento.
- Overall View. È molto legato al Mindset, e permette di dare la priorità ai problemi rilevati.
- Zero Optimum Concept: fissare obiettivi sfidanti, per esempio essere in grado di raggiungere zero guasti, zero sprechi, zero scarti dopo un certo orizzonte temporale.
- Involvemente: Coinvolgimento al 100% soprattutto quando si è in fase avanzata di implementazione del programma. Il coinvolgimento riguarda anche i fornitori.
- Delegation: attraverso la delega, è possibile aumentare la capacità e la velocità di tutti a risolvere i problemi. Il top manager deve delegare il middle manager nella gestione dei progetti e incontrarlo una volta alla settimana per un controllo dello stato di avanzamento.

1.3.2.3 MOTIVATION OF OPERATORS

Affinché il WCM si sviluppi nel migliore dei modi, è necessario il totale coinvolgimento degli operatori, poiché sono loro che conoscono maggiormente i processi e che, dunque, possono far conoscere i principali problemi e le azioni di miglioramento.

- **Engagement:** Coinvolgimento degli operatori. Ciò avviene soprattutto se i capi danno l'esempio.
- **Team Working:** permette a tutti i membri di mirare al raggiungimento dello stesso obiettivo. Esistono anche degli strumenti che permettono di sapere quanto efficace sia il lavoro di team.
- **Behavior:** si definiscono i comportamenti attesi. Ciò è importante anche per ottenere buoni risultati sulla Safety, Quality, manutenzione ecc.
- **Absenteeism:** misurare il livello di assenteismo all'interno del plant e poi fare tutto uno studio di ricerca della causa radice di questi assenteismi e trovare delle possibili contro misure.
- **Recognition & Rewarding System:** sistema di premiazione delle persone che danno buoni suggerimenti. Questo sistema è una delle leve per motivare le persone e guidare l'organizzazione verso i target e gli obiettivi prefissati.

1.3.3 COMPETENZE

Il terzo cluster manageriale ha a che fare con le competenze che devono essere sviluppate in modo adeguato rispetto alle necessità del Programma e al ruolo.

1.3.3.1 ALLOCATION OF HIGHLY QUALICATED PEOPLE

Questo pilastro manageriale riguarda l'allocazione nei team delle aree modello di esperti che conoscano i metodi e che siano in grado di trasferire la conoscenza. Per fare ciò vengono seguiti questi passaggi.

- **Allocation of highly qualified people:** Partendo dalle model area si identificano le persone da allocare per creare il know-how di base, quindi si allocano le persone competenti su tutti i livelli del plant.
- **Allocation of highly qualified people to which pillar:** tutti I pilastri sono composti da persone competenti nell'ambito del pilastro.
- **Allocation of highly qualified people to which level of which pillar:** permette di avere un buon bilanciamento tra competenze e necessità man mano che si porta avanti il progetto.

- Know how transfer by education/training: un sistema di training robusto rende più facile la diffusione delle competenze.
- Standardization and documentation: Si lega molto al know how transfer. Infatti, la documentazione standard aiuta ad avere una veloce diffusione della conoscenza.

1.3.3.2 COMPETENCE OF ORGANIZATION

Il raggiungimento del vantaggio competitivo dipende dalle competenze aziendali e, nell'ottica WCM, alla base del vantaggio competitivo vi è la capacità di eliminare o ridurre le perdite e gli sprechi. Queste viene fatto con l'aiuto di alcuni strumenti che sono:

- Method/Tools: devono essere utilizzati dal livello base a quello avanzato in funzione dell'avanzamento dei progetti. Essi si arricchiscono sempre di più e di conseguenza, il loro campo di applicazione si espande.
- Planning Ability: avere la capacità di pianificazione, cioè il Project management consente una gestione efficace ed efficiente dei progetti (coniugando Tempi, Costi e Qualità di progetto).
- Capability of Collecting Information to resolve the problems: capacità di raccogliere in modo semplice e strutturato i dati prima di risolvere un problema.
- Analytical capability: essere in grado di applicare il classico flusso del FI: problema→analisi problema →analisi del fenomeno che sta dietro→ricerca della causa radice.
- Continuous Learning: fissare degli obiettivi di competenza sempre più alti al fine di mantenere un apprendimento continuo.

1.3.3.3 LEVEL OF DETAIL

Per una corretta implementazione della metodologia WCM, è necessario raggiungere un alto livello di dettaglio per attaccare le perdite.

- Stratification: Stratificare il problema fino alla singola stazione di lavoro, fino alla singola macchina o sino alla singola operazione.
- Root Cause Analysis: capacità di stratificare la causa radice di un problema al massimo livello di dettaglio.

- Visualization: Capacità di visualizzare ogni tipo di problema e fenomeno attraverso sketches. Sviluppo di visual management esteso per cogliere le anomalie.
- Logic, Method/Tool, Rigor: la logica nell'analisi, nella selezione degli strumenti/metodi permette di risolvere con efficacia i problemi.
- Understanding Customer needs and wants: la voce del cliente deve essere portata all'interno dello stabilimento.

1.3.4 EXPANSION

Il Management di un'organizzazione deve sostenere una politica di diffusione del WCM che deve riguardare l'intero stabilimento in quanto, per ottenere il massimo beneficio e risultati eccellenti, occorre che ciò che è stato acquisito in una determinata area venga esteso anche ad altre aree. Questa macro area contiene un unico pilastro che a sua volta è suddiviso in 5 sotto-criteri, come per tutti i pilastri manageriali visti in precedenza:

- Pillar activities: I Pillar Leader e gli Specialisti sono allocati ai pillar. Attraverso il loro percorso di sviluppo dimostrano un adeguato livello di competenze.
- Covered machines/areas: Espandere la copertura delle aree in funzione dei Gates previsti dai criteri di Audit
- Covered Subjects/issues: ogni pilastro definisce le problematiche in termini di priorità, urgenza e le risolve nel tempo.
- Covered time horizon: essere in grado di prevedere il progresso dei singoli pilastri nel medio lungo termine.
- Supplier: estensione ai fornitori passo dopo passo attaccando le perdite che da soli non si ha capacità di risolvere.

2 WORLD CLASS MANUFACTURING ACADEMY

Dopo gli anni 2000, anni in cui la Fiat decide di applicare il programma WCM, nasce la necessità di dare al personale una formazione adeguata nello scopo di applicare tale programma.

Bisogna quindi essere in grado di associare il lato teorico della fornito dalla WCM a quello pratico, in modo che il personale possa realizzare nei laboratori o aree dedicate quel che ha imparato in aula. Quindi nasce la WCM Academy che è un centro per la formazione delle competenze WCM, che ha come Mission di realizzare le attività di formazione bilanciando adeguatamente attività teoriche, esercitazioni pratiche e applicazione sul campo.

L'organizzazione della WCM è strutturata su 3 livelli:

- Global Academy
- Regional Academy
- Plant Academy

2.1 GLOBAL ACADEMY

Il suo obiettivo è quello di processi di knowledge creation e leadership development basati sull'interdisciplinarietà, sull'interculturalità del training e sulla standardizzazione e diffusione delle conoscenze consolidate. Esso rappresenta una struttura organizzativa e strategica delle WCM Academies nel mondo FCA.

Il primo passo per la definizione delle linee guida della Global Academy è stato la definizione della, Vision, Mission e degli Obiettivi.

Vision:

- La WCM Academy deve essere un centro d'eccellenza, dedicato allo sviluppo delle competenze e della leadership delle persone che lavorano in FCA.
- L'Academy deve essere la leva per sviluppare le competenze delle persone così che possano dare il loro pieno contributo nello sviluppo di progetti e di programmi d'innovazione.

Mission:

- Supportare la nuova organizzazione standard di stabilimento che prevede che il Team Leader diventi il fulcro attorno al quale tutte le altre funzioni devono lavorare.
- Favorire lo sviluppo delle competenze e la crescita delle persone.
- Sviluppare la leadership delle persone.

Obiettivi:

- Allineare tutte le regioni (EMEA, NAFTA, LATAM, APAC) sul concetto di Global Academy
- Allineare tutte le regioni sulla nuova organizzazione standard di stabilimento.
- Condividere i percorsi e le attività di training tra le varie regioni.
- Definire un percorso comune per lo sviluppo della leadership.

2.2 REGIONAL ACADEMY

Si occupa dello sviluppo di competenze WCM, manageriali, all'utilizzo di strumenti di innovazione e allo sviluppo di competenze distintive.

La Regional Academy deve anche rappresentare un polo di eccellenza ed innovazione all'interno della quale possono essere anche previste attività di ricerca volte al miglioramento continuo. Oltre all'aspetto innovativo alla Regional Academy viene anche richiesto di essere un polo di benchmark a livello regionale. La Regional Academy deve quindi diventare un luogo dove vengono immagazzinate tutte le Best Practices sviluppate a livello regionale, favorendone la diffusione all'interno dei singoli stabilimenti.

La Regional Academy definisce anche le linee guide per lo sviluppo del leadership. La formazione prevede corsi specifici sui leadership tecnici e saff effective management.

2.3 PLANT ACADEMY

Il Plant Academy è basato è dedicato formazione sulle applicazioni tecniche del WCM e alla realizzazione di scuole di mestiere.

Con un metodo di training che consiste in una formazione erogata in aula, e l'altra parte che viene fatta nei laboratori e aree di esercitazione, viene superato il paradigma della classica lezione frontale.

Il Plant Academy rappresenta il livello operativo all'interno dell'organizzazione.

2.4 WCM ACADEMY TORINO

La WCM Academy di Torino è nata nel 2016, come Academy regionale EMEA.

La scelta di aprire un nuovo sito a Torino è frutto di una attenta analisi dal punto di vista strategico. A Torino infatti sono ancora presenti centri produttivi del mondo FCA: Mirafiori Presse, Mirafiori Carrozzeria, Mirafiori Meccanica, Maserati Grugliasco.

Il motivo di aprire la WCM Academy di Torino si giustifica anche con la presenza di tanti fornitori nel Piemonte e nelle sue vicinanze.

WCM Academy di Torino è quindi centro per la formazione delle competenze WCM. Il training si sviluppa attraverso un approccio sia teorico, che pratico/operativo. Per fare questo, sono state sviluppate laboratori come: NPL Line Simulation, OEE Simulation, Safety Dojo Room, Virtual and Immersive Realty Room, Torch factory Lab, dove dopo il training teorico si possono fare esercitazioni pratiche per dar modo ai partecipanti di acquisire maggiori competenze con riferimento all'applicazione dei concetti e strumenti del WCM.

2.4.1 NPL LINE SIMULATION.

Assembly Line è destinata all'insegnamento dei concetti sui pilastri di Workplace Organization, Quality Control, e Logistics. Il laboratorio è costituito di una linea di assemblaggio di un toy bike (figura 20) con un layout di magazzino non ottimizzato. La bicicletta è un modello della Berg Buzzy Fiat 500.



Figura 20: Berg Buzzi Fiat 500

La linea di assemblaggio è composta da sei stazioni e un controllo di qualità finale: ogni stazione ha uno schermo tattile che permette di interagire con il software NPL, strumenti di lavoro, richiesta e trasporto del materiale. Il magazzino è composto da scaffali contenenti materiali e prodotti finiti.

Sulla linea di simulazione come operazione si ha:

- OP10: montaggio del gruppo sterzo sul telaio
- OP20: montaggio del coperchio frontale e dell'asse dello sterzo
- OP30: montaggio dello sterzo
- OP40: montaggio delle ruote dello sterzo
- OP50: montaggio dell'asse e delle ruote posteriori
- OP60: montaggio della sella e applicazione dei logo sulle ruote e sullo sterzo
- OP70: controllo qualità

2.4.2 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVEMENT SIMULATION

O.E.E simulation è un metodo pratico per l'apprendimento dei concetti sul Cost Deployment sulla manutenzione autonoma.

Questa prova di laboratorio include l'utilizzo di una macchina di simulazione che può elettronicamente riprodurre lo stato di funzionamento delle macchine reali presenti in linea: vari componenti possono essere prodotti, il livello di velocità e dell'olio possono essere cambiati. La macchina di simulazione mostra informazioni come il livello dell'olio, il tipo di prodotto, la velocità, l'usura dei componenti, la potenza utilizzato dai prodotti lavorati. Per utilizzare la macchina sono necessari due partecipanti: uno per variare la velocità, il livello dell'olio e il tipo di prodotto, mentre l'altro deve eseguire manutenzione. Altre tre partecipanti sono richiesti per annotare le prestazioni della macchina durante il suo funzionamento-

L'esercitazione è strutturata in due fasi: durante la prima una produzione di dieci minuti viene realizzata e i dati vengono raccolti, mentre nella seconda fase i dati sono analizzati e viene misurato l'O.E.E (l'indicatore globale di efficienza della macchina).



Figura 21: O.E.E simulation

3 METODOLOGIA SMED

È una metodologia integrata nella teoria della lean production volta alla riduzione dei tempi di setup (o tempi di cambio produzione). Le prime intuizioni sul miglioramento del tempo di setup ad opera di *Shigeo Shingo*, padre fondatore della metodologia, risalgono al 1950.

Di fronte alle richieste sempre più variate del cliente, e avere una organizzazione produttiva basata su quelle, e con lo scopo di poter superare il concetto di grandi lotti produttivi e andare verso sistemi flessibili in grado di variare le tipologie e le quantità dei prodotti realizzati; minore è il lotto, minore sarà il Lead time associato e maggiore sarà la reattività dell'azienda nel rispondere alle esigenze del mercato.

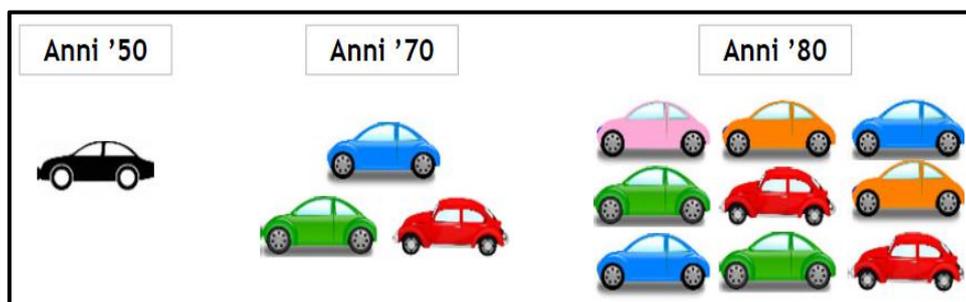


Figura 22: Evoluzione del mercato

Tuttavia va sottolineato un aspetto fondamentale: il passaggio da un unico grande lotto ad un numero superiore di commesse più piccole risulta conveniente soltanto se affiancato da un processo di riduzione dei tempi e dei costi di set up.

Con set up, si intende l'insieme della attività necessarie per passare da una produzione all'altra entrambi eseguite sullo stesso macchinario o impianto. Il tempo impiegato per svolgere tali operazioni viene detto **tempo di set up** cioè il tempo che passa tra la produzione de l'ultimo pezzo del lotto precedente e la produzione del primo pezzo buono (a velocità standard e qualità richiesta) del nuovo lotto. Di conseguenza, minore sarà il tempo di set up, maggiore sarà quello disponibile per la produzione.

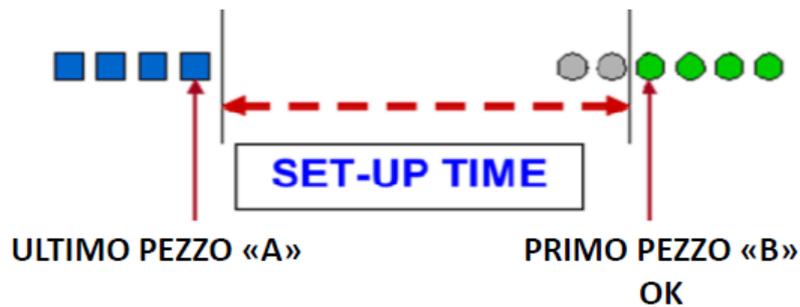


Figura 23: Tempo di cambio tipo

Con lo scopo di ridurre il tempo di cambio tipo, negli 70, in Toyota Motors Corporation, un ingegnere giapponese chiamato Shigeo Shingo sviluppò un metodo volto all'abbassamento del tempo di set up sotto i 10 minuti.

Questa metodologia ha permesso di superare due grossi vincoli che erano considerati nel passato:

- Effettuare efficientemente ed efficacemente dei set-up richiede di avere elevate competenze ed abilità, risultato di anni esperienza;
- Produrre a grossi lotti riduce l'effetto negativo dei set-up sulla produzione e ne controbilancia i relativi costi.

La riconfigurazione della macchina avviene mediante due tipologie fondamentali di operazioni:

- Attività IED (Inside Exchange of Die): operazione che deve essere effettuata a macchina ferma per ragioni puramente tecniche e non organizzative (montaggi/smontaggi di parti della macchina, prove, regolazione della posizione, altezza, pressione, ecc.).
- Attività OED (Outside Exchange of Die): operazione che può essere effettuata con la macchina in funzione (preparazione attrezzature /stampo a, alimentazione, pulizie, ecc.)

3.1 APPROCCIO TRADIZIONALE E APPROCCIO SMED

Per tanti anni, la produzione industriale si è basata sul pensiero sbagliato secondo il quale per ottenere maggiori risultati in termini di prodotti finiti bisognava impiegare maggiori risorse, sia umane che tecnologiche e maggiori ore di lavoro. Tutto ciò comportava ovviamente un aumento dei costi di investimento in materiali e di manodopera che dovevano essere, impiegate in misura maggiore, e essere altamente addestrate e specializzate.

In aziende "tradizionali" la differenza tra le due tipologie di attività (IED e OED) non è conosciuta né evidenziata: molte attività che potrebbero essere effettuate esternamente (con la macchina che lavora) vengono effettuate internamente (a macchina ferma), allungando e penalizzando la durata del tempo di set-up interno. In casi limite, il tempo di set-up interno è l'intero tempo di set-up.

Nell'approccio S.M.E.D, la strategia iniziale è di creare una distinzione netta tra le due tipi di attività, ed assicurare che tutte quelle attività che potrebbero essere effettuate "esternamente" vengano rimosse dalla zona "interna". In più la tecnica rivoluziona la visione secondo la quale l'impiego di tante risorse sia umane che tecnologiche garantiva maggiori risultati in termine di prodotti finiti, mirando prima ad una ottimizzazione dei processi, alla riduzione degli sprechi e delle inefficienze produttive attraverso un migliore studio dei processi e dei metodi, alla fine di tutti questi studi, si analizza la possibilità di fare un investimento. Da sempre i set up sono stati affrontati con difficoltà dall'approccio tradizionale che, per cercare di minimizzare i costi che pesavano su tutto il lotto prodotto adottava come unica soluzione la tecnica della produzione a grandi lotti. Per avere un'idea della diversità sostanziale dei due metodi si riporta un esempio numerico.

Costo orario macchina: 48€/h

Tempo ciclo: 1 min/pz

$$\text{costo/pz} = (\text{tempo ciclo} + \text{tempo setup}) \times \frac{\text{costo orario}}{60}$$

Dimensione del lotto (pezzo)	Tempo di set up (min.)	Costo unitario (€)
100	0	0,8
100	180	2,24
2000	180	0,87
100	9	0,87

Tabella 1

Si può notare che con un tempo di setup di 180 minuti, per aver un costo unitario che sia vicino a quello nelle condizioni ideali (setup time nullo), bisogna aumentare di molto la dimensione del lotto. Le conseguenze della produzione di un lotto così grande sono problemi di accuratezza delle previsioni della domanda, spazio per le scorte di materiali, problemi con la gestione del Lead time di produzione, ecc.

Parallelamente, si nota che con la stessa dimensione del lotto, abbassando il tempo di cambio tipo, si riesce ad ottenere un costo quasi uguale a quello ottenuto con il tempo di setup di zero minuto.

3.2 FASI CONCETUALI PER APPLICARE LO SMED

La metodologia SMED fa parte integrativa dello step 5 del pilastro tecnico Focused Improvement della WCM, pilastro che ha come obiettivo l'eliminazione dei problemi di spreco e perdita identificati dal pilastro del Cost Deployment. Nello step 5, viene scelto l'approccio più adeguato per affrontare, risolvere e nel possibile portare a zero i problemi di perdita e sprechi da affrontare;

Per quanto riguarda la riduzione del tempo di setup, si andrà a applicare la metodologia SMED che è stata introdotta sopra.

Attorno alle due principali attività sopracitate che sono IED e OED, seguendo l'approccio per il miglioramento continuo PDCA, ruotano tutte le fasi di ottimizzazione del processo di attrezzaggio proposte dalla tecnica SMED; queste si possono descrivere attraverso i seguenti step.

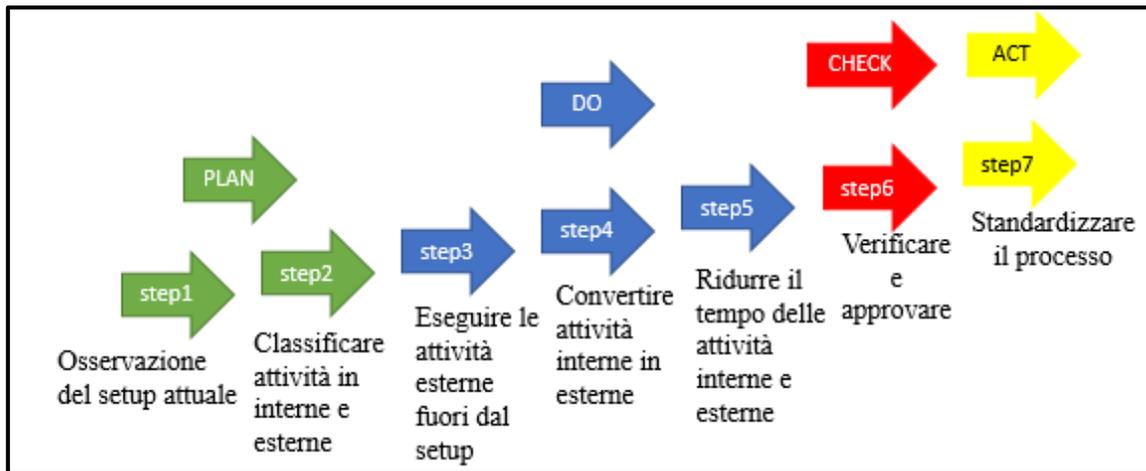


Figura 24: approccio PDCA SMED

3.2.1 PLAN

3.2.1.1 OSSERVAZIONE DEL SETUP ATTUALE

In questa prima fase, mediante una videocamera, il team (composto da 5/6 persone) osserva lo svolgimento normale di cambio tipo. Così facendo, possono visualizzare ogni operazione effettuata durante l'attività (preparazione materiale, sostituzione elementi macchina, aggiustamenti, ecc.) e rilevare il tempo a loro associato. È importante che l'operatore lavori nelle condizioni normali in modo che i tempi rilevati rispecchino effettivamente la realtà lavorativa di tutti i giorni.

Il processo videoregistrato deve essere di seguito analizzato attraverso un modulo di osservazione. Tale modulo fa una messa a punto sulle proporzioni delle diverse attività eseguite durante l'operazione di setup.

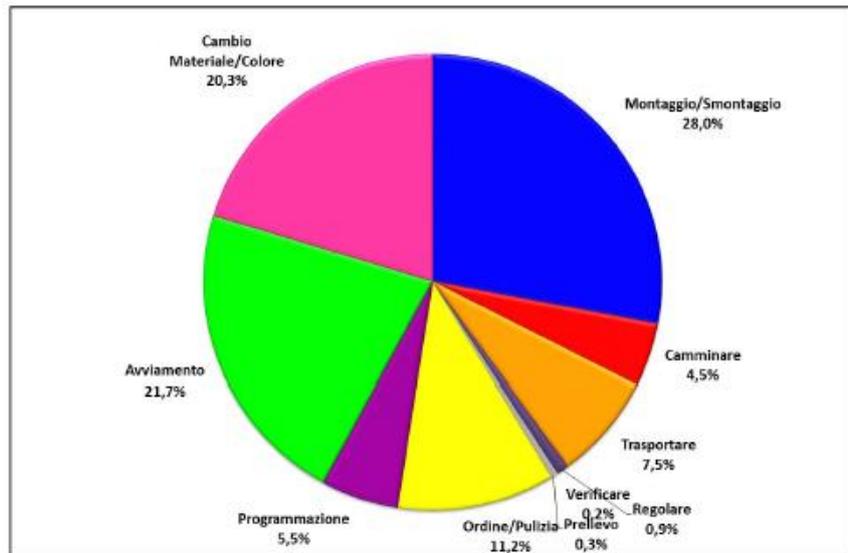


Figura 25: Stratificazione delle operazioni

3.2.1.2 CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITA' IN ESTERNE E INTERNE

Una volta effettuato lo step 1, durante il quale sono stati inseriti su una checklist tutte le operazioni eseguite durante l'attività di setup, nello step 2, si devono separare tutte le attività fatte a macchina ferma da quelle fatte a macchina che lavora.

Qui si tratta solo di una suddivisione delle attività nelle due grandi tipologie (interne e esterne) esistenti con lo scopo di vedere le percentuali globali occupate da ciascuna delle tipologie.

3.2.2 Do

3.2.2.1 ESECUZIONE DELLE ATTIVITA' FUORI DAL SETUP

Dopo aver fatto una classifica delle diverse operazioni eseguite durante il setup, bisogna impostare il setup in modo che a macchina ferma non vengono realizzate operazioni di setup esterne, attività evitabili.

Per poter fare questo lavoro, viene chiamato in causa un elemento detto "checklist" che è uno strumento che contiene:

- Documenti da produrre per l'esecuzione del setup;

- Materiale e attrezzature da preparare
- Attività del setup esterne da eseguire.

3.2.2.2 CONVERTIRE ATTIVITA' INTERNE IN ESTERNE

Durante queste step, si cerca di spostare il maggior numero di operazioni interne in quelle esterne con l'obiettivo di ridurre il tempo di ferma macchina.

Per poter fare questi cambiamenti, vengono usate alcuni metodi che aiutano nel fare questi esercizi:

- Il pre-setting: permette di preparare il sotto insieme da introdurre in macchina durante la fase di lavorazione del lotto precedente

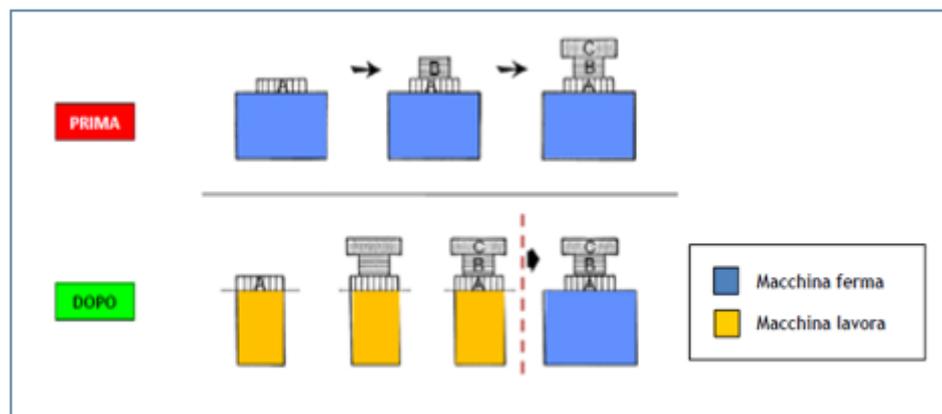


Figura 26: Pre-setting macchina

- Sistemi di scarico e carico: le operazioni di scarico e carico possono essere velocizzate per mezzo di alcuni strumenti come: gru, paranco, trasportatore a rulli come mostrato nella figura 27.

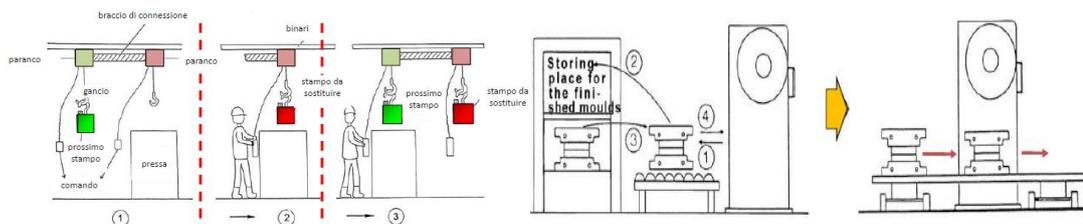


Figura 27: Sistemi guida scarico/carico

3.2.2.3 RIDURRE IL TEMPO DELLE ATTIVITA' INTERNE

Una volta convertite le operazioni di setup interne in esterne, bisogna andare a agire sul tempo di quelle rimanenti attività che si possono eseguire unicamente a macchina ferma, cercando di abbassarlo il più possibile. Cioè bisogna analizzare di nuovo le operazioni eseguite con i nuovi metodi e valutare se possono essere apportati ulteriori miglioramenti. Macchine complesse quali, ad esempio, grandi presse o sistemi di colata spesso richiedono operazioni su più lati della macchina.

Esistono vari dispositivi che quando possono essere applicati, per ridurre il tempo di setup interno. Tra essi si possono citare:

- Standardizzazione funzionale: riduce notevolmente il tempo di cambio tipo ma richiede molto tempo e denaro.

Le operazioni di scarico e carico possono essere velocizzate per mezzo di alcuni strumenti come: gru, paranco, trasportatore a rulli

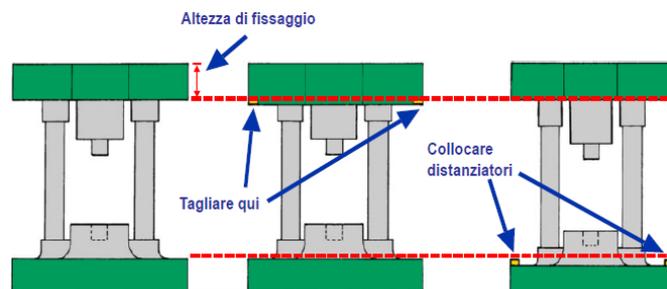


Figura 28: Standardizzazione forma dello stampo

- Miglioramento dei fissaggi e accoppiamento: l'avvitatura è uno dei principali cause dell'allungamento del setup time. Per questa ragione, non si devono usare viti e bulloni di dimensioni diversi, si deve ridurre il loro numero oppure usare altre soluzioni come mostrato in figura 29

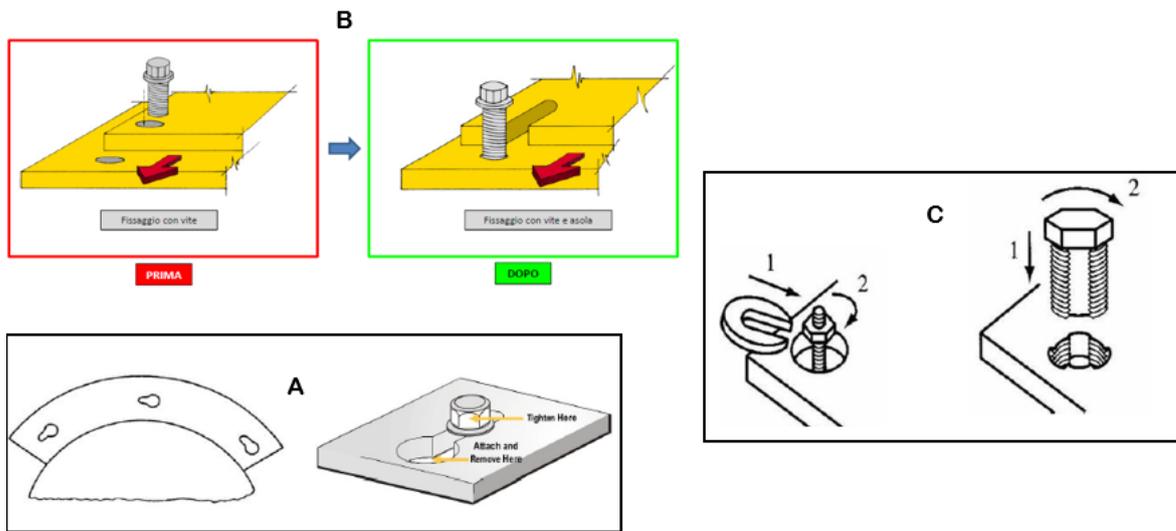


Figura 29: Fori a forma di pera (A), fissaggio con asola (B), filettatura speciale e rondelle (C)

- Operazioni in parallelo: invece di un operatore per una serie di operazioni di setup, due o più operatori effettuano le stesse operazioni in parallelo. In questo modo il tempo di setup e il costo di manodopera può essere drasticamente ridotto. Nel caso peggiore, il costo totale di manodopera è lo stesso del caso di un singolo operatore ma il tempo di setup è comunque dimezzato.
- Evitare regolazioni: le regolazioni sono l'ostacolo principale alla riduzione del tempo di setup interno. Dipendono molto dalla competenza dell'operatore. La migliore contromisura per le regolazioni è evitarle.

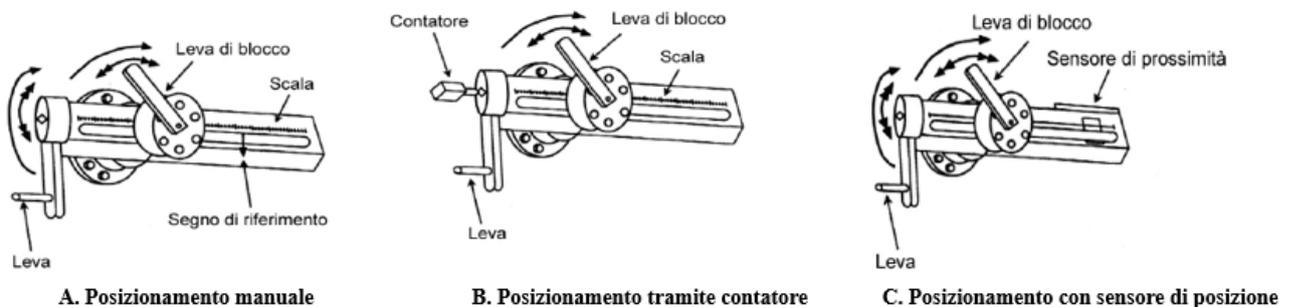


Figura 30: posizionamento tamburo

In figura 30 sono identificati tre modi diversi per bloccare un tamburo che si deve fermare a una certa posizione precisa;

- Nel primo caso (non consigliato), si fa un controllo visivo che necessita diversi aggiornamenti per raggiungere il punto giusto per il fermo tamburo. Questi aggiornamenti portano via molto tempo e quindi anche soldi in termine di produzione.
- I casi B e C sono quelli raccomandati. Se nel caso si ha un blocco tramite un contatore, cioè si sa a ogni posizione del tamburo quante volte bisogna girare la leva per fermarsi sul punto giusto e quindi il margine di errore è più basso; per quanto riguarda il caso C, viene messo un sensore che manda un segnale quando il tamburo arriva alla posizione voluta.

3.2.3 CHECK.

3.2.3.1 VERIFICHE E APPROVAZIONE

Dopo aver svolti tutti i passi precedenti, si fa una valutazione del rapporto beneficio/costo per sapere quanto si guadagna in termine di tempo che verrà convertito in soldi facendo tutte le operazioni sopracitate. Quindi valutando globalmente il progetto SMED si è in grado di approvarlo.

3.2.4 ACT

3.2.4.1 STANDARDIZZAZIONE

Con un rapporto B/C positivo, si passa alla diffusione della metodologia in tutte le area delle stabilimento dove si possono trovare macchine che producono diversi tipi di lotto.

La diffusione viene fatta attraverso una procedura standard che deve contenere le attività da eseguire nell'opportuno ordine, i tempi di realizzazione, e i parametri tecnologici.

4 CASO STUDIO

Dopo una descrizione su come svolgere la metodologia, essa è stata implementata su una delle molteplici lavorazioni che contribuiscono alla produzione del cambio C514.

4.1 MIRAFIORI POWERTRAIN PLANT

Il Mirafiori Powertrain fa parte del gruppo FCA e è specializzato nella produzione di cambi C514 di. Lo stabilimento al giorno d'oggi si qualifica come uno stabilimento Silver nella ranking del World Class Manufacturing con un punteggio di 65/100.

Il layout semplificato dello stabilimento in figura 31 mostra tutte le aree, dall'arrivo della materia fino alla spedizione del prodotto finito.

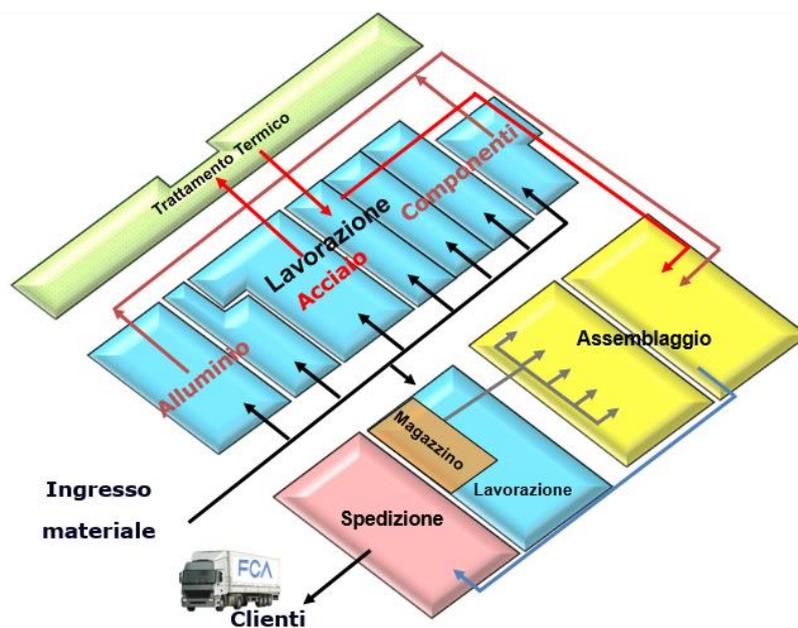


Figura 31: Layout stabilimento

- *Lavorazione*: zona dove vengono eseguite tutte le lavorazioni meccaniche su tutti i pezzi che compongono il cambio, dal grezzo al pezzo finito.
- *Trattamento Termico*: area dove alcuni componenti del cambio acquisiscono determinate caratteristiche metallurgiche nell'ottica del buon funzionamento del cambio.

- *Montaggio*: una volta che i componenti sono stati lavorati e trattati termicamente, vengono assemblati assieme con altri pezzi provenienti dai fornitori esterni.

In queste aree, vengono prodotti diversi tipi di cambio:

- 5 e 6 Marce
- MTA (Manual Transmission Automatic) che è uno cambio automatizzato, quindi gli azionamenti manuali sono sostituiti da quelli automatici di un normale cambio manuale.
- AWD (All Wheel Drive), è un cambio a trazione integrale, cioè che la potenza che arriva dal motore viene trasmessa alle quattro ruote del veicolo.

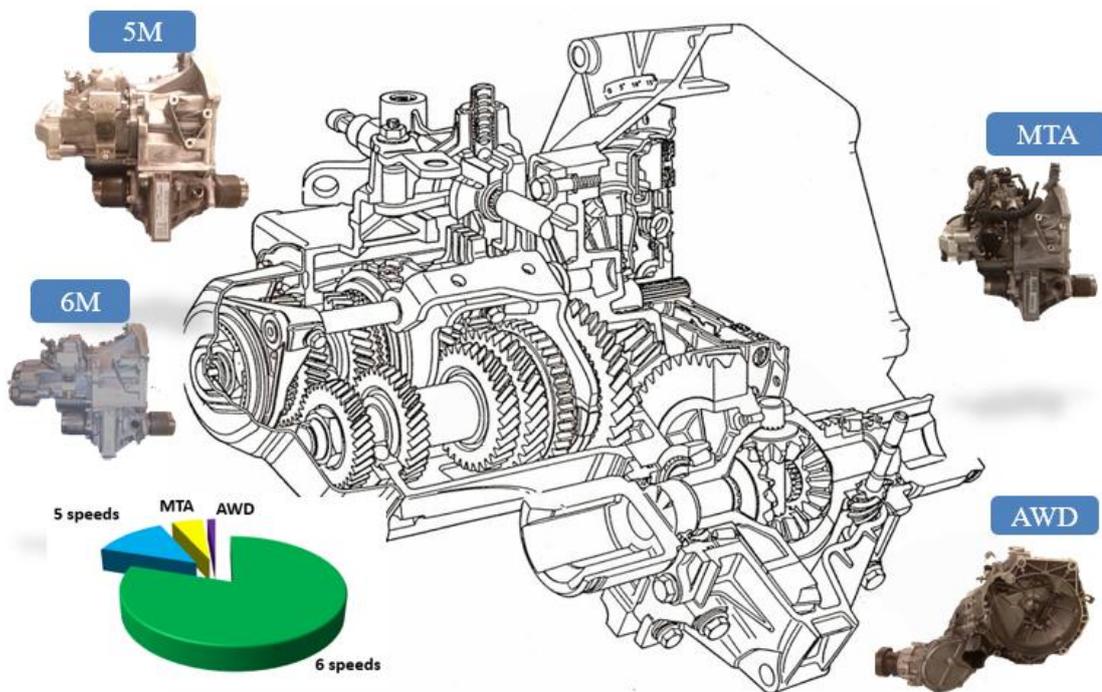


Figura 32: tipologie di cambio C514

Nella anni passati, la produzione era più mirata sui cambi a 5 marce, e meno sulle 6 marce. Ma con la richiesta dei clienti, questa tendenza si è invertita completamente e si nota una progressiva domanda sempre più alta dei cambi a 6 marce.

I principali componenti costituenti di questi cambi sono in acciaio, alluminio, ghisa e bronzo.



Figura 33: componenti cambio C514

Nello stabilimento, queste tipologie di cambio sono prodotte con vari rapporti di trasmissione. Questo cambio viene realizzato con sette tipi di rapporto diversi:

- 14/63
- 13/64
- 15/56
- 15/58
- 14/57
- 16/57
- 16/55

Tale cambio viene montato su diversi modelli vettura commercializzate in tanti paesi diversi.



Figura 34: macchine con cambio C514

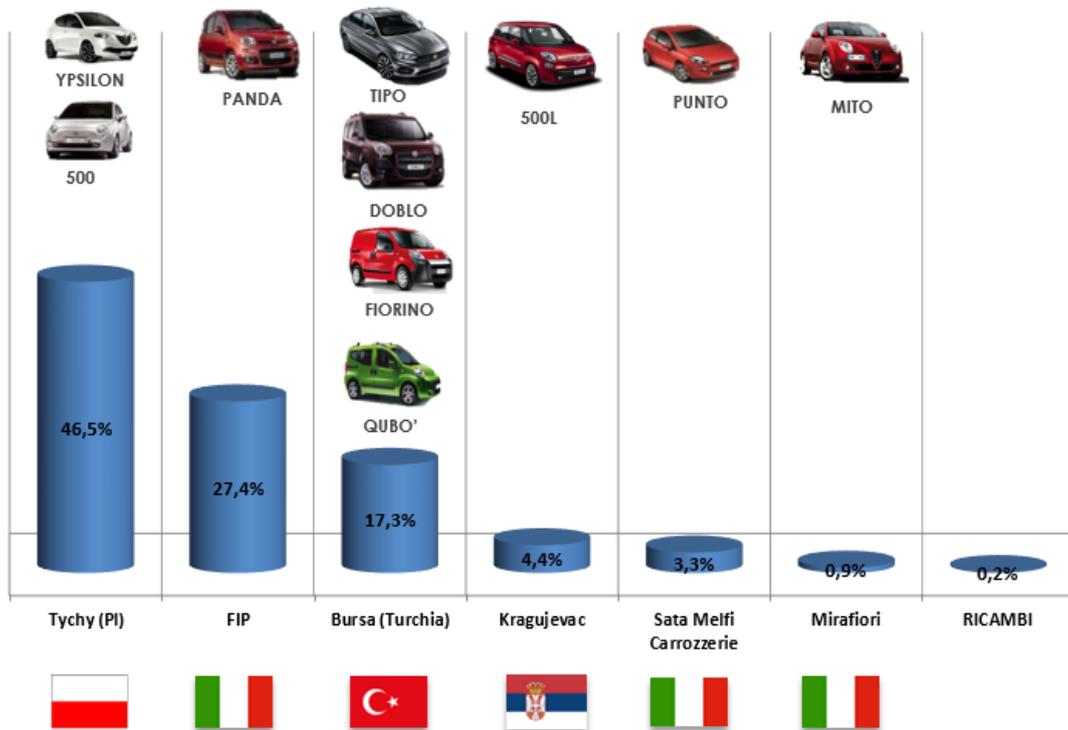


Figura 35: paesi consuntivi cambio C514

4.2 COST DEPLOYMENT

Il *Cost Deployment* consente al management di applicare un efficace progetto di miglioramento per combattere le cause di perdita più rilevanti e raggiungere il massimo livello di incremento aziendale. L'obiettivo è valutare, pianificare e monitorare la riduzione dei costi usando le attività di miglioramento. Il fine del *Cost Deployment* è individuare sprechi e perdite rispetto al costo di trasformazione del prodotto per fare efficienza,

Il *Cost Deployment* è prima di tutto un metodo per stabilire in modo scientifico e sistematico un programma di riduzione costi che avviene attraverso la collaborazione tra le attività di Produzione e quella di Amministrazione e Controllo.

L'obiettivo principale del *Cost Deployment* è trovare costi inutili derivanti da perdite e sprechi, e cercare di ridurli.

Con *perdita*, si intende la differenza tra un risultato atteso e quello effettivamente ottenuto a parità di risorse impiegate.



Figura 36: nozione di perdita

Lo spreco invece è un sovra utilizzo delle risorse con lo scopo di ottenere un determinato risultato atteso.



Figura 37: concetto di spreco

Dai concetti di perdite e spreco, si possono definire due grandezze che danno un peso ad un processo:

- **Efficienza:** è una variabile tecnologica ed è riferita ai fattori diretti utilizzati in un processo di produzione; è la caratteristica secondo la quale un processo è in grado di produrre lo stesso livello di output, utilizzando delle quantità minori di input.

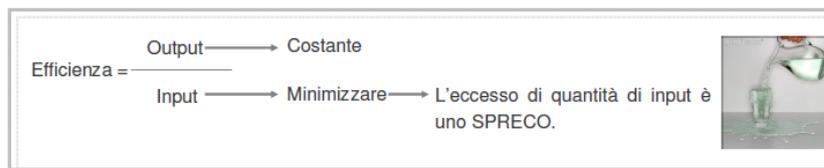


Figura 38: efficienza: stesso output con input minore

- **Efficacia:** si tratta invece di variabile organizzativa e si riferisce alle risorse indirette usate in un processo; misura la capacità di massimizzare l'output a parità di risorse in ingresso.

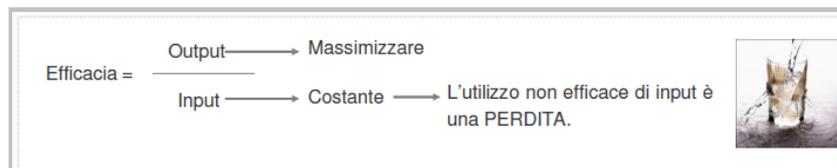


Figura 39: efficacia: output alto con le stesse risorse

Quindi, il CD agisce come una sorta di “bussola” che permette di individuare in maniera scientifica e sistematica le perdite presenti nel sistema produttivo, indirizzare le risorse e l’impegno manageriale verso attività che hanno maggiori potenzialità.



Figura 40: Cost Deployment: bussola dello stabilimento.

Per raggiungere tutti questi obiettivi, il *Cost Deployment*, come gli altri pilastri, percorre sette step, ciascun di questi step chiama in causa una matrice che aiuta nell'implementazione della metodologia.

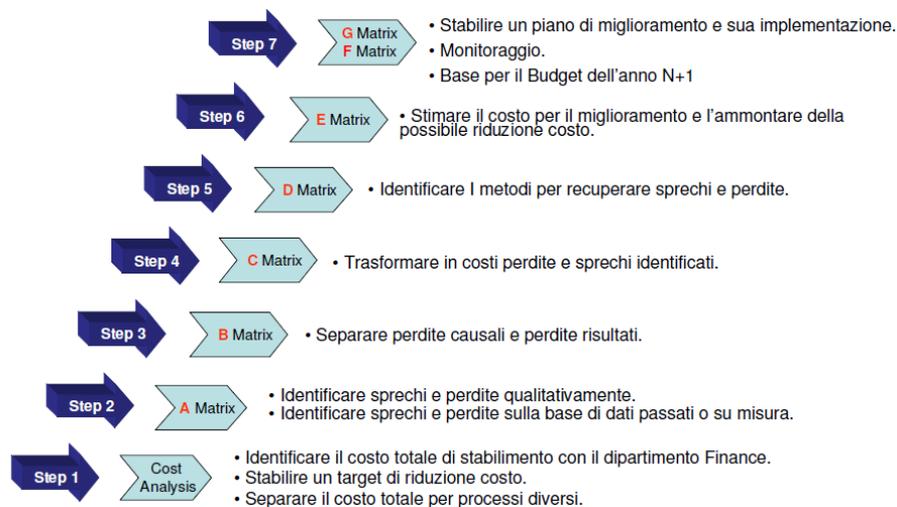


Figura 41: steps del cost deployment

- Step 1: si occupa di definire un perimetro rispetto al quale saranno misurati i risultati del cost deployment. Tale area viene chiamata “*Perimetro WCM*”
- Step 2 - Matrice A: fornisce una valutazione che è prima qualitativa e poi quantitativa delle maggiori perdite e sprechi. Fa in modo che si possa capire dove esattamente si può rilevare perdite e sprechi all'interno dello stabilimento.

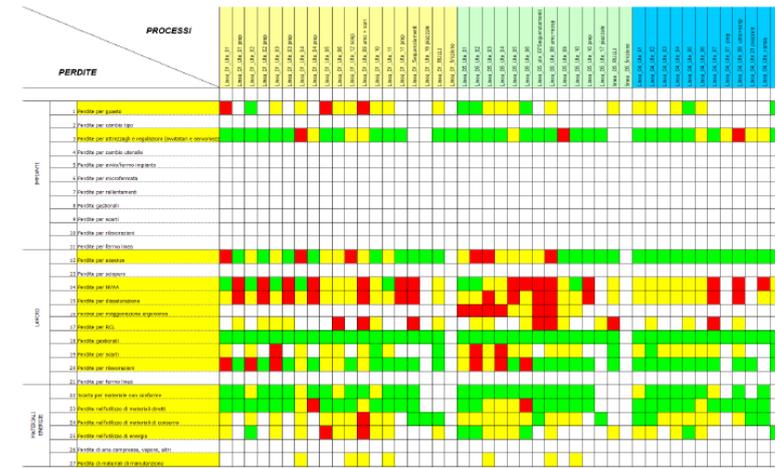


Figura 42: esempio matrice A

Sulla matrice, ogni riga rappresenta una tipologia di perdita e sulle colonne vi sono i processi. I colori rosso, giallo e verde rappresentano rispettivamente un livello alto, medio e basso delle perdite.

- Step 3 – Matrice B: suddivide le perdite in causali e risultanti, e evidenzia la relazione esistente fra le une e le altre, processo per processo. Lo scopo dell'attività è identificare le cause di ciascuna perdita in ciascun processo. In quanto esistono due tipi di perdite: perdite causali e perdite risultanti. Le prime, derivanti da un problema del processo o dell'impianto. Le risultanti, invece, sono conseguenti ad una perdita causale. Questa distinzione viene fatta in quanto non esiste una soluzione diretta per attaccare una perdita risultante, la perdita non può essere ridotta a meno che la causa radice sia identificata. In più il valore finale di una causale comprende quella della perdita risultante.

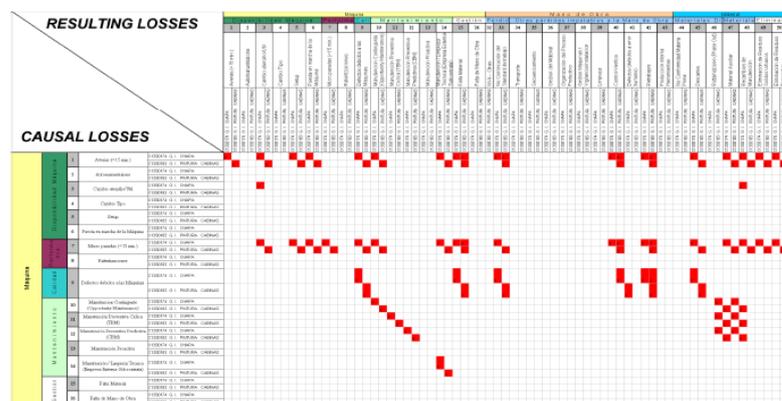


Figura 43: matrice B

Per ogni riga, spostandosi da sinistra verso destra, ogni incrocio rappresenta le relazioni tra perdite causali e risultanti.

- Step 4 – Matrice C: valorizza il costo delle perdite sorgenti, dandone la priorità. La matrice mette in luce i costi derivanti dalle perdite causali nei processi, cioè, le perdite che portano maggiori costi. Viene realizzata partendo dalle perdite causali della matrice B. Costituisce quindi, il legame fra sprechi e perdite e la struttura dei costi dello stabilimento.

MATRICE C		costo materiali di consumo	costo materiali di consumo	costo energia elettrica	costo energia termica	costo acqua	costo gas	costo lubrificanti	costo manutenzione	costo trasporti	costo altri	TOTALE
IMPIANTI	SALDA	BECCO SHOP	120	1.000	7.000	12.000		1.700		5.000	3.000	34.900
		PIANT SHOP	11.000	100	1.000		3.000			1.000	1.000	17.000
		ASSEMBLY SHOP				14.000		14.000		1.000	15.000	1.000
	SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572
		PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600
		ASSEMBLY SHOP								100	100	200
	SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572
		PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600
		ASSEMBLY SHOP								100	100	200
	SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572
		PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600
		ASSEMBLY SHOP								100	100	200
SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572	
	PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600	
	ASSEMBLY SHOP								100	100	200	
SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572	
	PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600	
	ASSEMBLY SHOP								100	100	200	
SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572	
	PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600	
	ASSEMBLY SHOP								100	100	200	
SALDA	BECCO SHOP	2	20	27	402		21		100	20	572	
	PIANT SHOP	30.000			0,500				100	100	30.600	
	ASSEMBLY SHOP								100	100	200	

Figura 44: matrice C

Ogni riga di questa matrice rappresenta una perdita, mentre le colonne rappresentano le voci di costo (materiale di consumo, energia, manodopera ecc.). Il risultato complessivo rappresenta il valore globale di perdite identificate. Tale valore deve essere confrontato con perimetro dei costi dell'area scelta.

il diagramma di Pareto, permette di capire in quale area dello stabilimento si hanno perdite più alte.

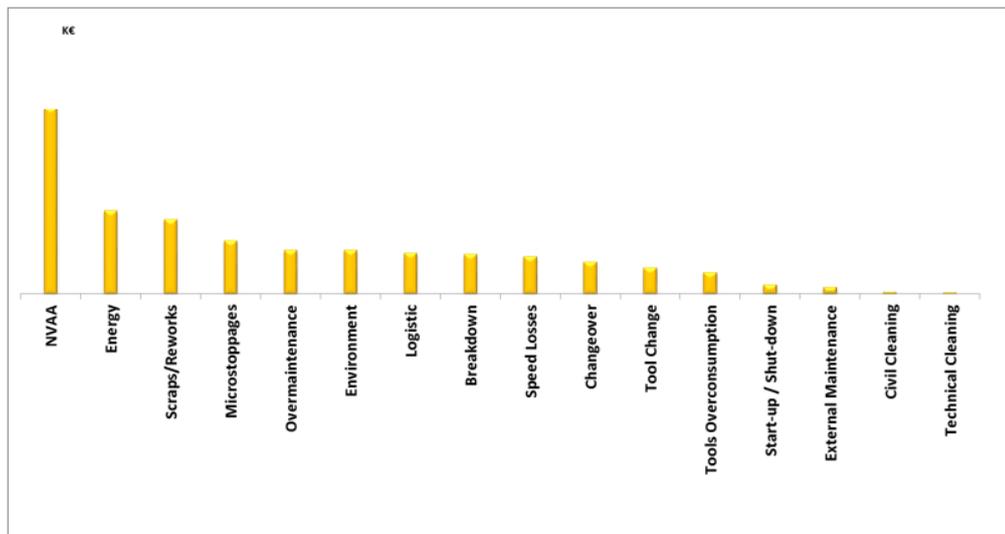


Figura 45: esempio diagramma di Pareto

- Step 5 – Matrice D: vengono scelti i metodi per eliminare le perdite prioritarie, cioè che generano il maggior costo. Di fatto, si possono avere due approcci adatti per ridurre o meglio eliminare le perdite e sprechi: *il miglioramento focalizzato* e quello *sistematico*.

Il miglioramento focalizzato è orientato alla soluzione di tematiche specifiche e univocamente identificabili, si concentra su un unico problema e ottiene risultati in tempi brevi, si fa riferimento al pilastro *Focus Improvement*.

Il miglioramento sistematico invece, è orientato alla soluzione di tematiche generali e non univocamente identificabili, richiede più tempo ma ha un impatto più esteso e previene il verificarsi di altre perdite. Gli strumenti utilizzati nel metodo sistematico sono organizzati nei pilastri tecnici del WCM: *Safety, Autonomous Maintenance, Workplace Organization, Professional Maintenance, Quality Control, Logistics, People Development*.

Le fasi di questo metodo sono le seguenti: identificare le perdite attaccabili, basandosi sull'indice ICE; scegliere come attaccare le perdite; valutare l'impatto sui KPI; compilando la matrice D - Perdite Causali/*Know-how*. Gli Input necessari per l'elaborazione della Matrice D saranno la Matrice C del *Cost Deployment*, la conoscenza dei metodi focalizzati e sistematici per attaccare le perdite e i KPI di stabilimento. L'indice ICE permette di sottoporre le più importanti perdite causali identificate dalla matrice C a una valutazione degli impatti, del costo e della facilità di attacco.

$$ICE = I \times C \times E$$

Dove:

L'impatto (I) esprime qualitativamente, con un ranking da 1 a 5, il valore economico della perdita individuata.

Il costo (C) esprime qualitativamente, con un ranking da 1 a 5, il valore economico dei costi da sostenere per l'attuazione del miglioramento.

La facilità (E) infine, esprime qualitativamente, con un ranking da 1 a 5, il livello di facilità nell'affrontare la perdita (tempi e risorse)

MATRICE D																			
Macro Tipologia di Perdita	Tipologia di Perdita	Processo	Perdita Totale (€/anno)	Metodologia (Pilastro)										Benefici su KPI		ICE		Priorità	
				S	CD	FI	AM/ WO	PM	QC	LOG	EEM	PD	E	Sicurezza	Qualità	Produttività	Impact (Alto:5; basso:1)		Cost (Alto:1; Basso:5)
Impianti	Perdita A	UTE 1																	
		UTE 3																	
		UTE 4																	
		UTE 7																	
		UTE 8																	
	Perdita B																		
	Perdita E																		

Figura 46: matrice D

Una volta compilata la matrice D, diventa chiaro identificare su quale perdita lavorare e con quale metodologia.

- Step 6 – Matrice E: Questa matrice rappresenta la visione d'insieme dei progetti di miglioramento WCM avviati ed elenca per ogni progetto i valori pianificati ed effettivi in termini di Costi/benefici e impatto sui KPI di stabilimento.
- Step 7 – Matrice F: si occupa del monitoraggio e il *follow up* dei progetti di miglioramento avviati scrivendo il piano di miglioramento e gestendo gli avanzamenti. Si realizza infine la *G Matrix* – Progetto/Budget che rappresenta il legame tra progetti e il budget per verificare se

il piano è migliorabile, quindi consiste nel mettere in relazione i *saving* realizzati al budget dello stabilimento.

Nel caso di lavoro di tesi svolto, dopo aver analizzate, quantificate e raggruppate le tutte le perdite dello stabilimento in causali e risultanti, dalla matrice C, si è potuto stabilire un diagramma di Pareto relativo a tutte le perdite identificate nella matrice C.

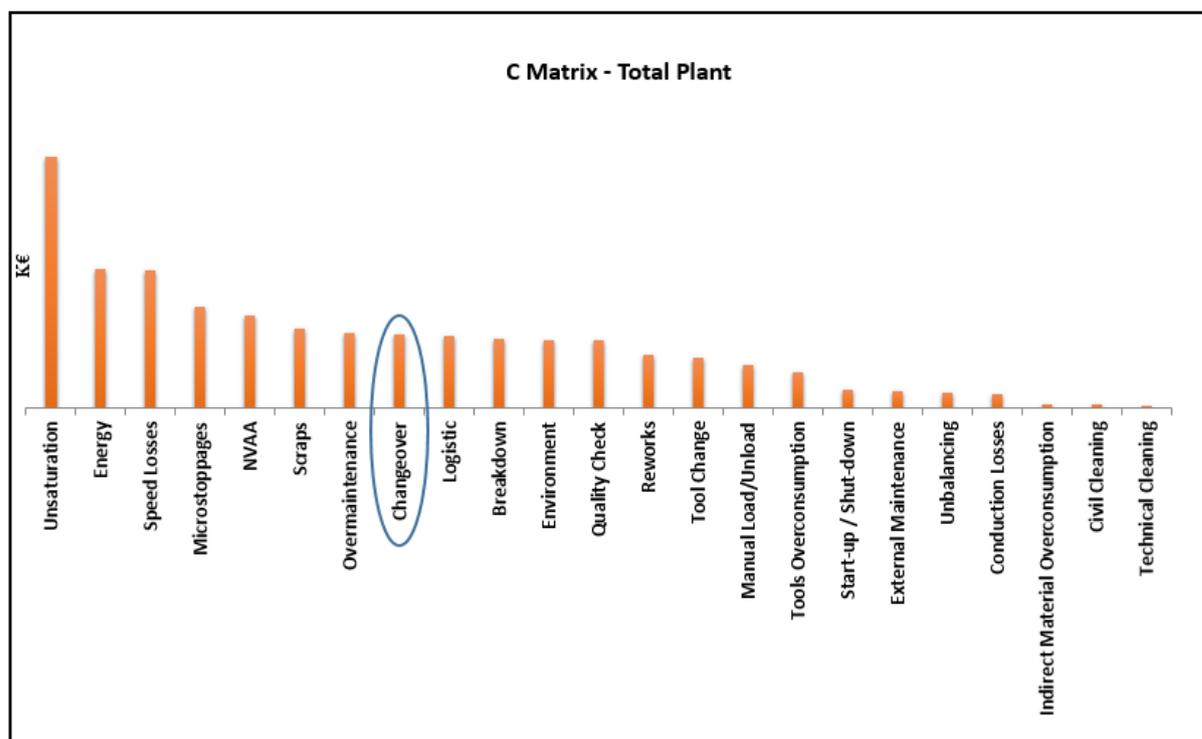


Figura 47: Pareto matrice C dello stabilimento

Come illustrato dalla figura 47, il cambio Tipo rappresenta una percentuale significativa delle perdite dello stabilimento.

Facendo lo stesso lavoro, si è stratificata la matrice C relativa all'interno dello stabilimento e suddividendolo nelle varie UTE.

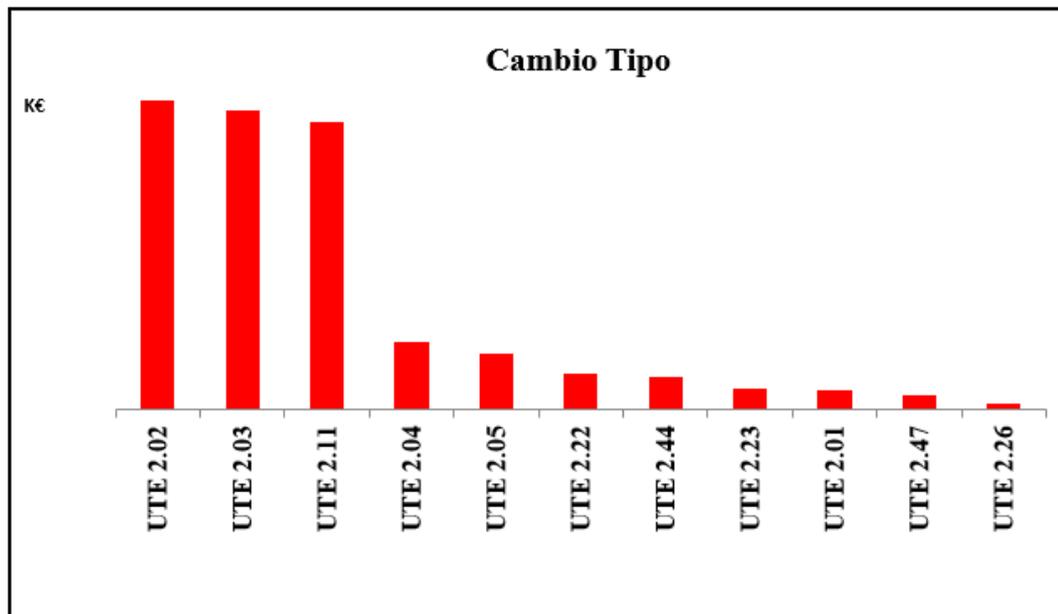


Figura 48: diagramma di Pareto perdite per ute

Dal diagramma, si evince che l'unità più critica è la 2.02 la quale sarà soggetta al lavoro di tesi.

4.3 DESCRIZIONE UNITA' TECNOLOGICA ELEMENTARE 202 (UTE)

Lungo l'unità tecnologica elementare 2.02 dello stabilimento Powertrain di Mirafiori, vengono eseguite le lavorazioni di due componenti che fanno parte del complessivo differenziale del Cambio C514. I componenti sono: *la corona cilindrica e la scatola differenziale*. Il primo è fatto in acciaio, mentre il secondo è in ghisa



Figura 49: componenti scatola diff. Completa

Questi due particolari vengono assemblati all'operazione op70 prima di essere portati all'operazione di rettifica op140 di collaudo finale figura 50.

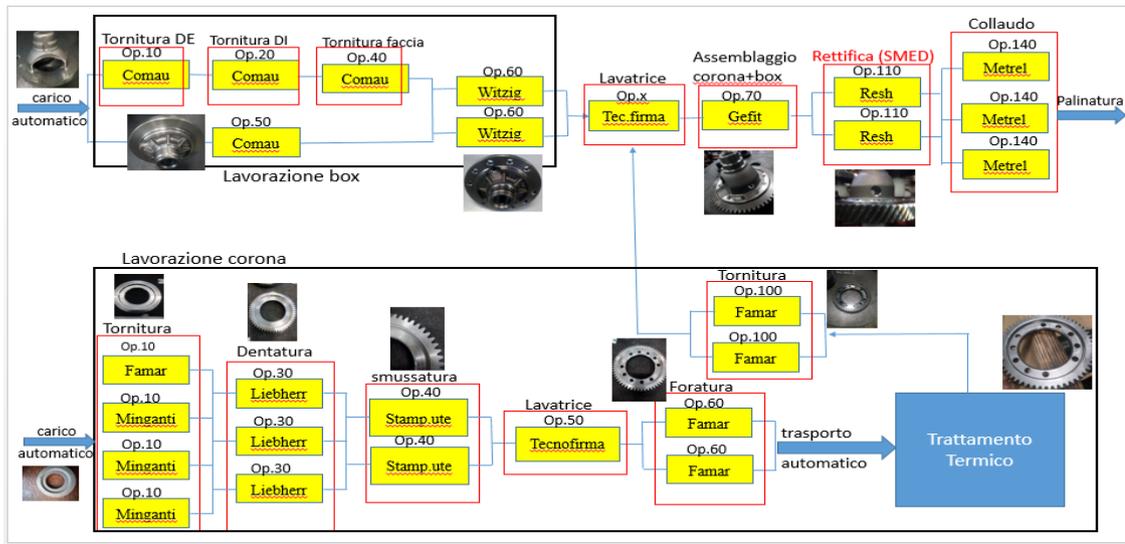


Figura 50: Layout Ute 202

Il layout semplificato della linea 2.02, si possono notare tutte le lavorazioni effettuate sulla corona cilindrica e sulla scatola differenziale, partendo dal pezzo grezzo fino all'operazione di rettifica che è l'ultima lavorazione prima del collaudo finale.

Lo scopo del lavoro in ottica miglioramento produttività aziendale, è stato lo studio delle perdite dovute al cambio tipo che si generano nelle singole operazione dello stesso.

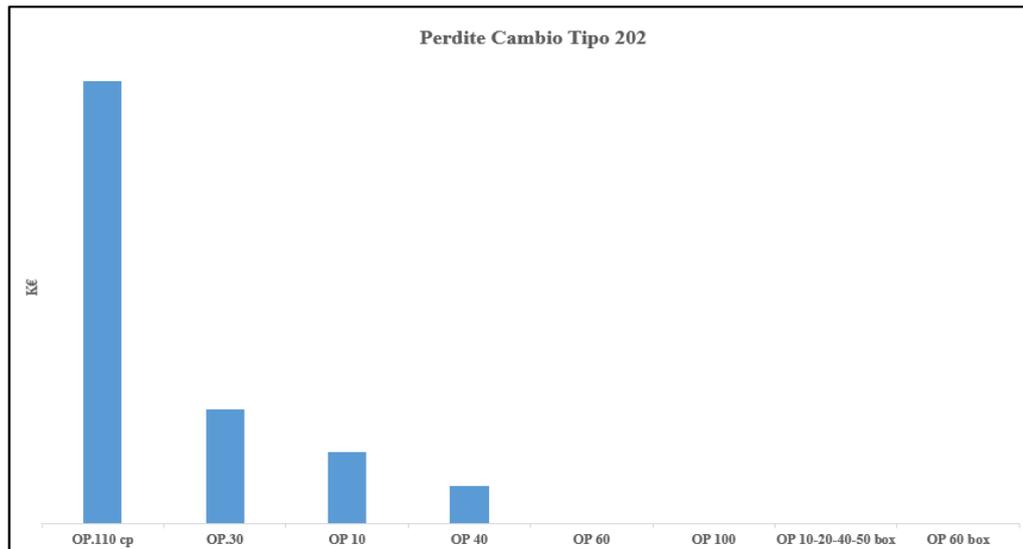


Figura 51: perdita per cambio tipo UTE 2.02

Questo ci permette di capire su quale operazione bisogna intervenire in termine di setup time. Come si può vedere dal grafico, l'operazione 110 (rettifica) è quella che genera maggior perdite in termine di cambio tipo. Su quelle macchine (dato che ce ne sono due in parallelo), oltre alle perdite per cambio tipo, si generano anche altri tipi di perdite come evidenziato in figura 52.

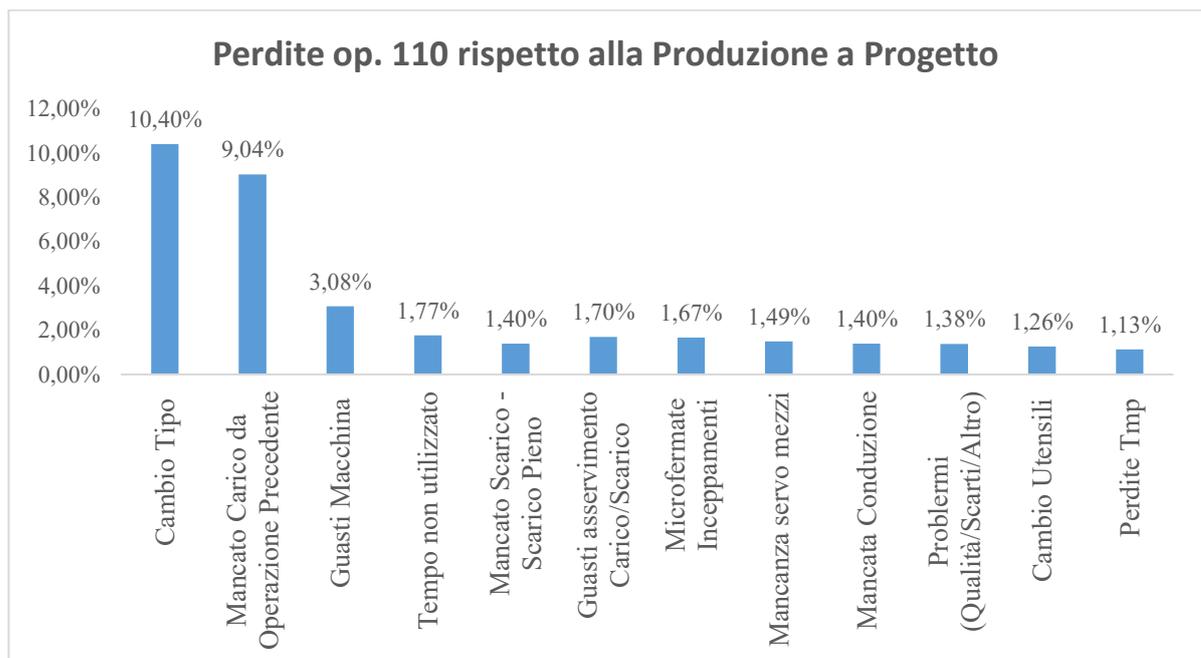


Figura 52: perdite lavorazione di rettifica.

Dal grafico sopra, si evidenzia che le perdite più significative per quanto riguarda la lavorazione di rettifica sono quelle dovute al cambio tipo, che sono perdite tecniche quindi attaccabili. Di conseguenza, saranno l'oggetto del lavoro di tesi.

4.4 ANALISI DEI FATTORI PRODUTTIVI

I fattori produttivi sono indicatori di performance, cioè elementi che permettono di valutare la produzione e capire fino a che punto ci si avvicina agli obiettivi di progetto. Possono misurare l'efficienza della singola macchina, in questo caso si parla di Overall Equipment Effectiveness (O.E.E), oppure quella di linea, e qui si tratta di Overall Line Effectiveness (O.L.E):

Esistono due modi diversi di calcolare l'indicatore globale di efficienza:

Il primo facendo semplicemente un rapporto tra la produzione effettiva e quella teorica

$$O. E. E = \frac{\text{output effettivo}}{\text{output atteso}} = \frac{\text{tempo effettivo di funzionamento}}{\text{tempo teorico di funzionamento}}$$

Il secondo metodo di calcolo è attraverso i seguenti tre fattori:

- **Disponibilità:** misura la capacità dell'impianto di non fermarsi nell'intervallo di tempo in cui questo viene considerato disponibile e la manodopera è presente. Le eventuali cause di fermo sono legate ad eventi inattesi quali per esempio guasti, setup, startup/shutdown, scioperi ecc.
- **Performance:** sono espresse come rapporto tra la produzione effettiva e quella attesa considerando il tempo produttivo netto a disposizione e la velocità della macchina. Le perdite che incidono sulle performance sono: mancanza materiali, rallentamenti, microfermate mancato scarico.
- **Qualità:** rappresenta la capacità dell'impianto a generare prodotti senza difetti e che non hanno bisogno di rilavorazione.



Figura 53: O.E.E

Quindi per il calcolo dell'O.E.E, si ha:

$$O.E.E = D \times P \times Q$$

$$D \text{ (disponibilità)} = B/A$$

$$P \text{ (performance)} = C/B$$

$$Q \text{ (qualità)} = D/C$$

Si può subito notare come per avere un elevato valore di O.E.E. sia necessario che tutti e tre gli indici siano alti, a significare che solo un impianto in cui tutte le risorse siano sfruttate in maniera ottimale può raggiungerlo. È necessario precisare come l'O.E.E. sia un indice di efficacia dell'impianto quindi considera esclusivamente tutte le perdite interne ad esso e non quelle esterne.

L'O.E.E permette di identificare le perdite maggiori, costituisce un metodo ideale per individuare i problemi e aumentare la capacità della macchina, costituisce la base per la valutazione dello stato attuale della macchina presente nello stabilimento.

Per quanto riguarda il caso studio, l'obiettivo essendo di migliorare la produzione, bisognava dapprima sapere quale era lo stato della macchina al fine di poter intervenire con efficienza.

Nella figura 54, si può vedere l'andamento dell'indicatore globale durante il periodo di svolgimento della tesi. In quel periodo, l'O.E.E di quella macchina stava nell'intervallo 47% - 76%, e facendo una media sui cinque mesi, e si può vedere dalla figura 55 che il valore dell'O.E.E per quella macchina

sta intorno al 63%. Le rimanenti 37% sono assorbite da tutte le tipologie di perdite precedentemente illustrate in figura 43.

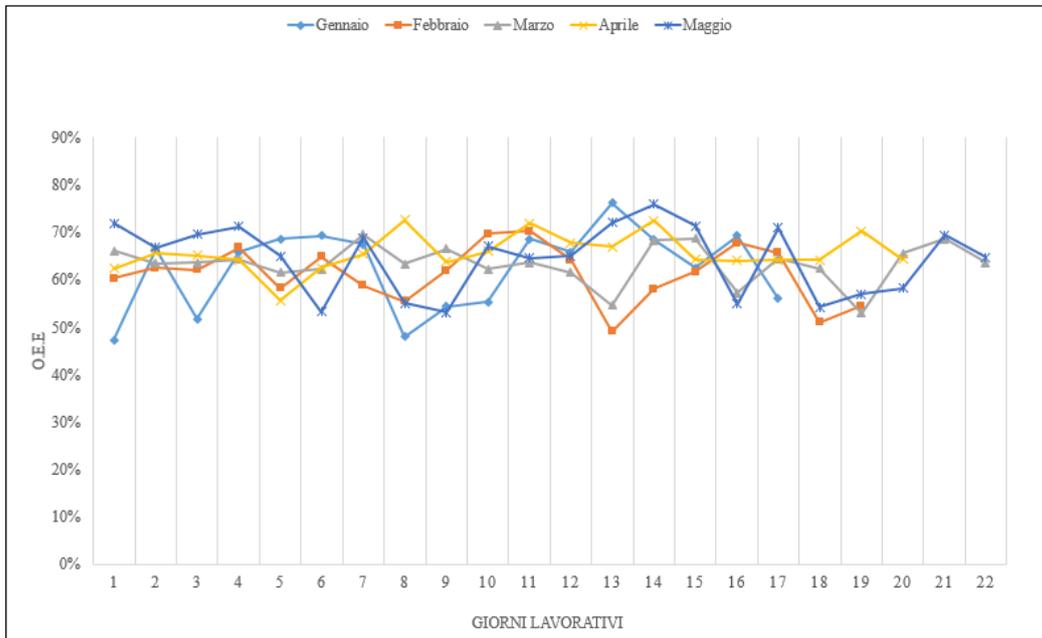


Figura 54: andamento O.E.E

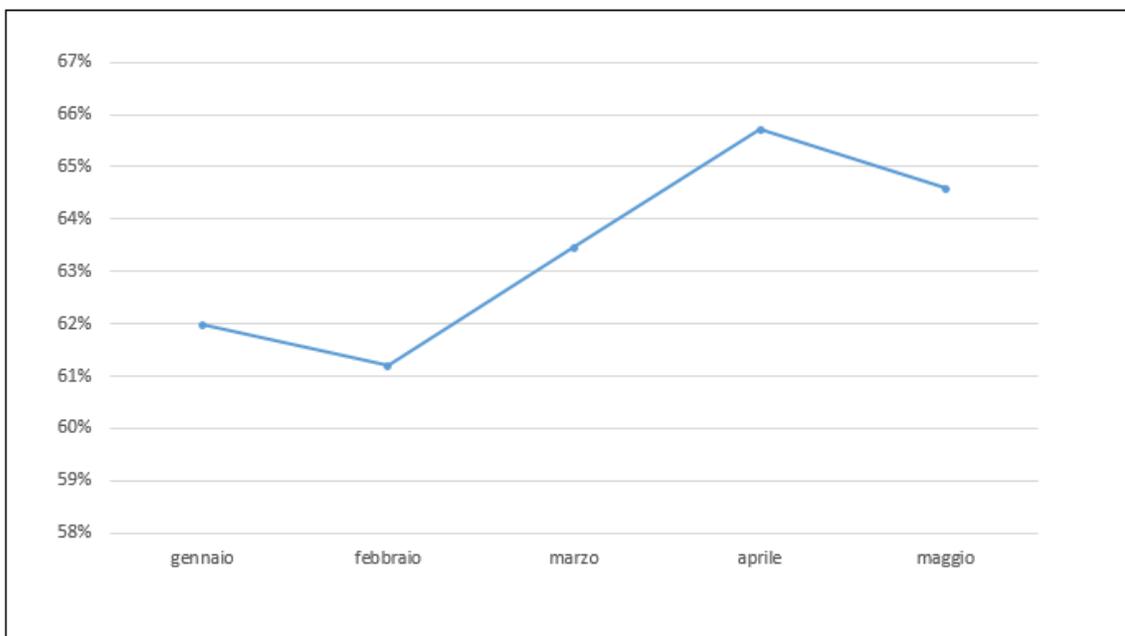


Figura 55: valori medi O.E.E

Diventa evidente che la macchina non lavora alle sue capacità massime di produzione, che nelle condizioni perfette sarebbero del 100%. Tale condizione significherebbe che la macchina lavora a pieno regime, cioè senza mai fermarsi.

Normalmente, è impossibile trovare in gergo una macchina con una efficienza unitario. Di solito, i costruttori progettano una macchina con un'efficienza ottimale (diversa dal 100%) di lavoro, che nel caso della tesi è dell'85%. Avendo questo dato, si può facilmente notare che la macchina lavora al di sotto delle sue condizioni ottimali.

Avendo tra le tipologie di perdita una certa percentuale dovuta al cambio tipo, migliorando il tempo di cambio tipo implica un miglioramento sull'efficienza della macchina.

4.5 OPERAZIONE DI RETTIFICA

La necessità di ridurre la rumorosità dei cambi per migliorare il comfort di guida e per rispettare le nuove prescrizioni delle normative sull'inquinamento acustico hanno portato allo studio di processi di finitura degli ingranaggi in grado di migliorare la qualità finale del pezzo.

Principali vantaggi della finitura dopo trattamento termico sono i seguenti:

- Il profilo finale del dente è costante, perché questo tipo di processo è più stabile;
- Le deformazioni del T.T. vengono corrette in fase di finitura;
- La migliore finitura superficiale e la possibilità di introdurre correzioni di micro geometria consentono di realizzare ingranaggi più silenziosi;
- Eventuali bollature sui denti possono essere eliminate dall'operazione di finitura; inoltre il pezzo finito, essendo già indurito, è meno soggetto a rischio di ulteriori ammaccature prima del montaggio.
- Correzione degli errori di concentricità.

Gli svantaggi di questi processi sono essenzialmente due:

- Il costo delle macchine e degli utensili è più elevato rispetto alla sbarbatura;
- Il tempo di approvvigionamento degli utensili è lungo.

In FCA i processi di finitura superficiale sono di due tipi: Rettifica e Levigatura.

La rettifica dei denti viene eseguita con l'obiettivo di migliorare le rugosità superficiali della fascia dei denti che andranno a contatto durante l'ingranamento, questo per poter garantire ottime

prestazione e movimenti fluidi. Tale processo viene chiamato “*a generazione continua con mola a vite senza fine*”.

I principali strumenti necessari per la lavorazione sono le seguenti: una mola, un rullo diamantatore, e una sonda.

Il processo di rettifica viene eseguito con le seguenti fasi:

- All’inizio del processo, la mola viene montata a bordo macchina e viene equilibrata per minimizzare le vibrazioni;
- Viene eseguita la fase di profilatura della mola tramite il rullo diamantatore; in base al rapporto di trasmissione che si deve lavorare, si genera il contorno del profilo della mola creato al fine di ottenere il profilo ad evolvente richiesto.
- La fasatura: tramite una sonda, il dispositivo di fasatura automatica serve a garantire il posizionamento ottimale della dentatura del pezzo rispetto alla mola. La fasatura automatica si basa sulla misurazione dello spessore dei denti o dell'ampiezza dei vani interdentali sulla testa del pezzo. Questa misura permette di determinare la posizione di centraggio rispetto ad una misura di riferimento eseguita su una dentatura già rettificata.
- Per finire si esegue l’operazione di rettifica vera e propria sul pezzo tramite la mola. Durante questa fase finale, viene asportato un sovrametallo di 0,07 – 0,09 mm per fianco del dente.

Tutti questi passaggi vengono realizzati con una sola macchina (Reishauer), l’operazione di profilatura della mola deve essere eseguita ogni 30 pezzi lavorati; questo per mantenere il profilo dei denti.

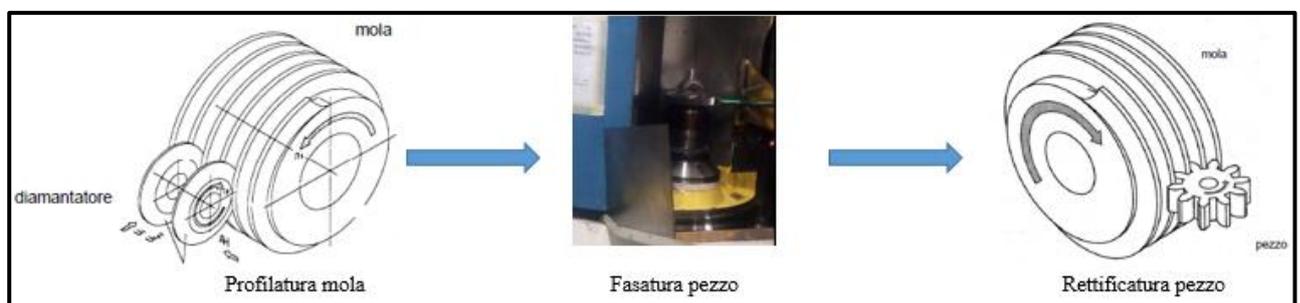


Figura 56: passaggi operazione rettifica



Figura 57: macchina per rettifica

4.6 DESCRIZIONE DEGLI ERRORI DI FORMA RELATIVI ALLA RETTIFICA

Lo scopo della lavorazione di rettifica è quello di ridurre gli errori di forma di elica e evolvente i quali influiscono sulla rumorosità durante il trascinarsi del moto degli ingranaggi. Tali errori vengono generati dalle lavorazioni precedenti; di dentatura, trattamento termico e tornitura. Nel complessivo analizzato, solo la corona è soggetta al trattamento termico.

I suddetti errori nascono dalle lavorazioni precedenti a quella di rettifica e dal trattamento termico il quale è soggetta solo la corona.

4.6.1 RUGOSITA' SUPERFICIALE (Ra)

Insieme delle irregolarità superficiali lasciate dal processo di lavorazione. Un grado di rugosità superficiale bassa ci permette di aver ingranaggi più silenziosi durante il rotolamento.

Per effettuare la misura, verrà utilizzato un apparecchio chiamato *rugosimetro* (figura 58A), munito di un tastatore. Tale operazione avviene eseguendo una traccia ortogonale al senso di lavorazione. Nel caso studio, la traccia da analizzare sarà effettuata su un fianco dente ortogonale all'asse della corona come illustrato in figura sotto.



A



B

Figura 58: Rugosimetro (A); Traccia misura rugosità (B)

Durante il processo di misura, il tastatore effettua una traccia detta lunghezza totale di campionatura. Secondo le norme ISO 4288, questa lunghezza è suddivisa in tanti cut – off (λ_c), ovvero lunghezze semplici di campionatura

Profili Periodici	Profili NON Periodici		Cut-off	Lunghezza di Campionatura / Lunghezza di Valutazione
S_m [mm]	R_z [μm]	R_a [μm]	λ_c [mm]	λ_c/L [mm]/[mm]
$0,013 < S_m \leq 0,04$	$(0,025) < R_z < 0,1$	$(0,006) < R_a \leq 0,02$	0,08	0,08/0,4
$0,04 < S_m \leq 0,13$	$0,1 < R_z \leq 0,5$	$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	0,25/1,25
$0,13 < S_m \leq 0,4$	$0,5 < R_z \leq 10$	$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	0,8/4
$0,4 < S_m \leq 1,3$	$10 < R_z \leq 50$	$2 < R_a \leq 10$	2,5	2,5/12,5
$0,4 < S_m \leq 1,3$	$50 < R_z \leq 200$	$10 < R_a \leq 80$	8	8,0/40

Tabella 2: Cut-off raccomandati – Norma ISO 4288-1997

- Lunghezza di valutazione: è definita come la lunghezza del profilo utilizzato per la misura dei parametri di Finitura Superficiale: generalmente contiene più Lunghezze di Campionamento.
- Tratto di valutazione: lunghezza effettiva su la quale viene fatta la misura di rugosità.

Nella valutazione degli errori di rugosità, viene tolto all'inizio e alla fine della traccia un valore pari a metà cut-off; di conseguenza, il tratto di valutazione è pari alla lunghezza di valutazione diminuita di un cut-off. Questa correzione viene effettuata dal software per evitare di analizzare eventuali vibrazioni che si possono generare all'inizio e alla fine della corsa.

L'analisi della rugosità parte da un profilo non elaborato che in base alla rugosità richiesta da cartellino operativo, secondo la norma ISO 4288, si andrà a scegliere la lunghezza totale di campionatura e i cut – off.

Nel lavoro di tesi era richiesta da cartellino operativo una rugosità massima tollerata di 0,6 μm , quindi facendo riferimento alla tabella 2, la lunghezza totale di campionatura sarà di 4 mm con cut – off di 0,8 mm, quindi ne deriverà una corsa suddivisa in 5 cut – off come illustrato in figura 60.

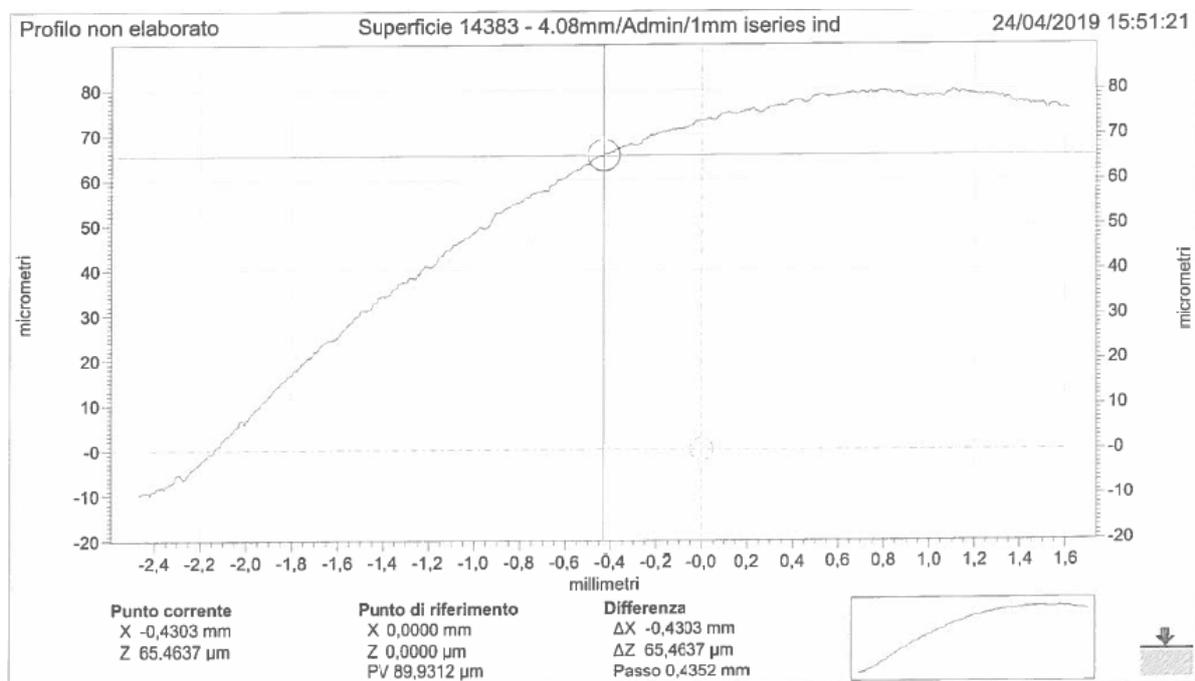


Figura 59: profilo non elaborato

Il profilo verrà analizzato secondo questo criterio:

verrà tracciata una linea media, che viene determinata come posizione, dalla linea nominale stabilita dai minimi quadrati che attraversa il profilo primario stesso. Viene definita dal profilo del filtro impiegato come richieste dalle norme ISO 11562.

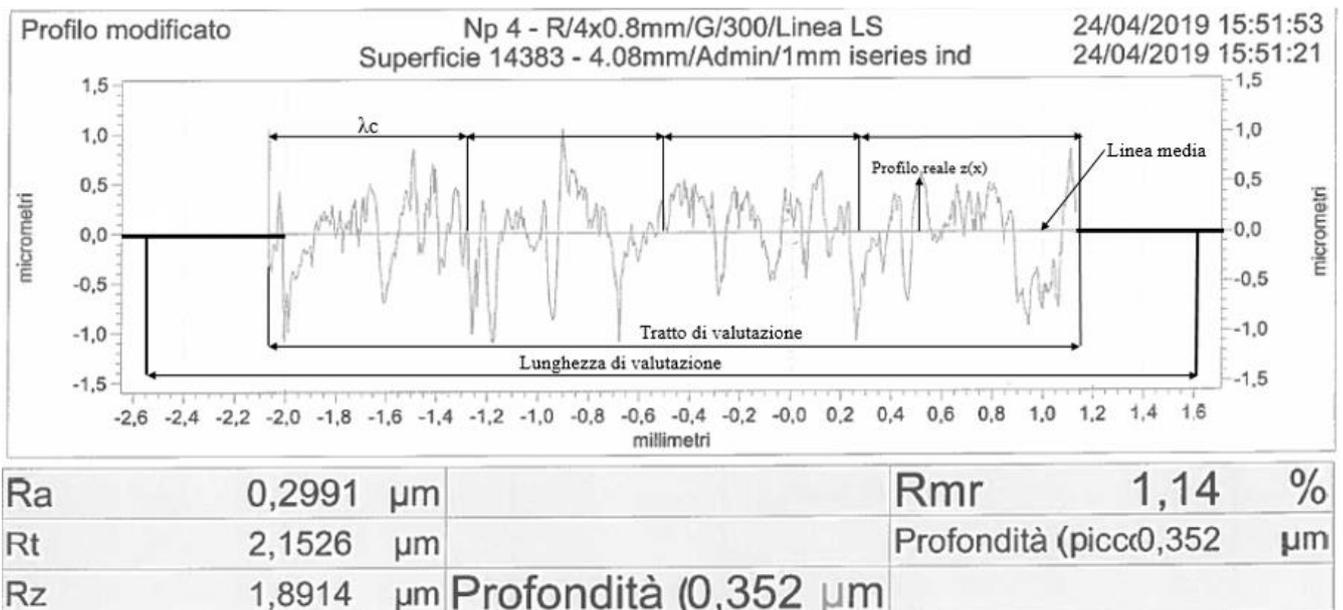


Figura 60: profilo elaborato.

Ra è il parametro di rugosità universalmente riconosciuto ed è il più usato. Costituisce la media aritmetica degli scostamenti assoluti del profilo rispetto alla linea media.

$$Ra = \frac{1}{l'} \int_0^{l'} |z(x)| dx$$

$l' = \text{Tratto di Valutazione}$

$z(x) = \text{distanza del profilo reale rispetto alla linea media}$

Il valore di rugosità dipende dalla lavorazione e dalla funzione che si vuole dare al componente lavorato. Nella tabella 3 sono riportati diversi valori di rugosità in funzione della lavorazione.

Rugosità Ra (μm)	Lavorazione
25	Deform. Plast
6,0 - 12	Sgrossatura
1,6 - 3,2	Finitura
0,2 - 0,8	Rettificazione
0,05 - 0,1	Lappatura

Tabella 3: valori rugosità superficiale

4.6.2 ERRORI D'ELICA, D'EVOLVENTE E DIVISIONE

Sono parametri che permettono di aver un controllo sui profili d'elica e d'evolvente dei denti della corona.

Le norme prevedono che per assicurare un certo grado di qualità ad un ingranaggio, bisogna controllare i seguenti parametri di dimensione, forma e micro geometria:

- Errori d'elica, cioè la deviazione della linearità del dente rispetto all'asse pezzo o all'angolo previsto. I principali sono:
 - fH_{β} : L'errore angolare delle linee dei fianchi dei denti oppure scostamento angolare del fianco del dente.
 - F_{β} : L'errore globale delle linee dei fianchi, che è definito come lo scostamento totale del fianco del dente.
 - ff_{β} : Errore della forma dei fianchi
 - cb : bombatura

- Errori di evolvente, ovvero la differenza del profilo reale della dentatura rispetto a quello teorico.
 - fH_{α} : errore dell'angolo di pressione;
 - ff_{α} : errore forma profilo evolvente;
 - F_{α} : errore globale profilo;

- ca : bombatura.

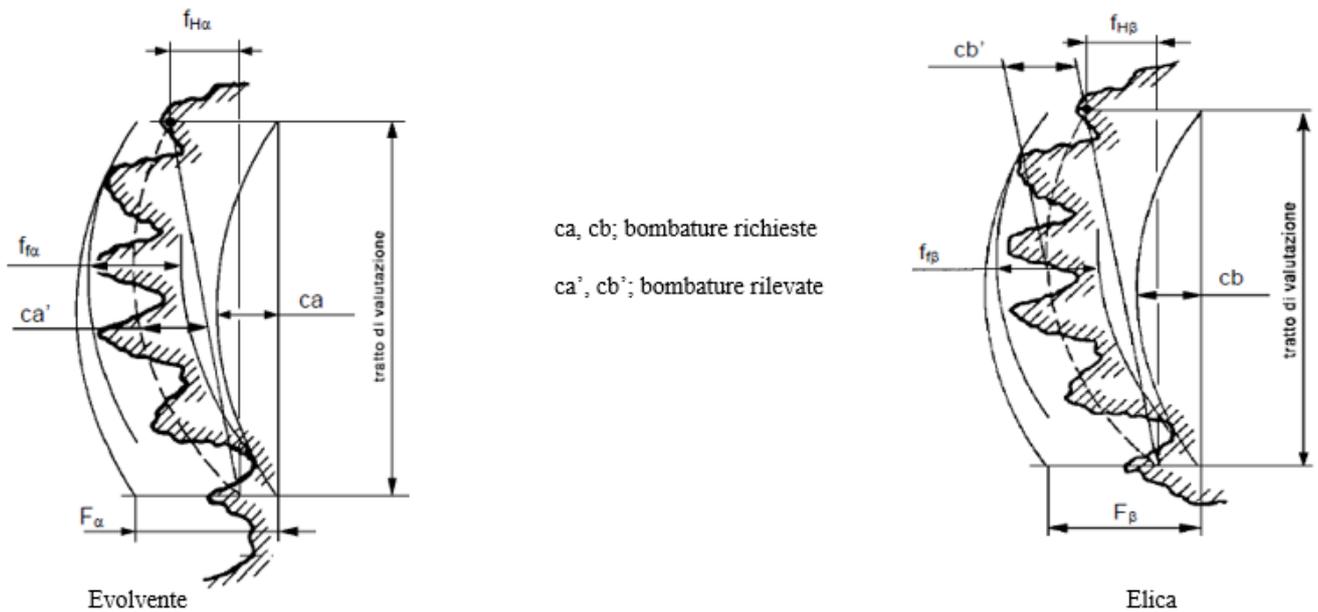


Figura 61: Profili evolvente e elica

Accanto a questi errori sul profilo del dente e dell'evolvente, ci sono altri fattori che vanno a misurare l'errore di divisione tra un dente e l'altro. I più importanti sono:

- $f_u \max$: è il salto di passo massimo, cioè la massima differenza tra due valori di divisione effettivi consecutivi per il fianco destro o per quello sinistro.
- $f_p \max$: Errore singolo divisione massimo; è la differenza di quota effettiva massima di una singola divisione e la quota nominale.
- F_p : errore somma divisione è il massimo scostamento dalla posizione corretta di un qualsiasi dente rispetto ad un altro dente qualsiasi nell'intera ruota.
- F_r : L'errore di divisione F_r è il massimo scostamento tra l'asse di un dente e quello adiacente.

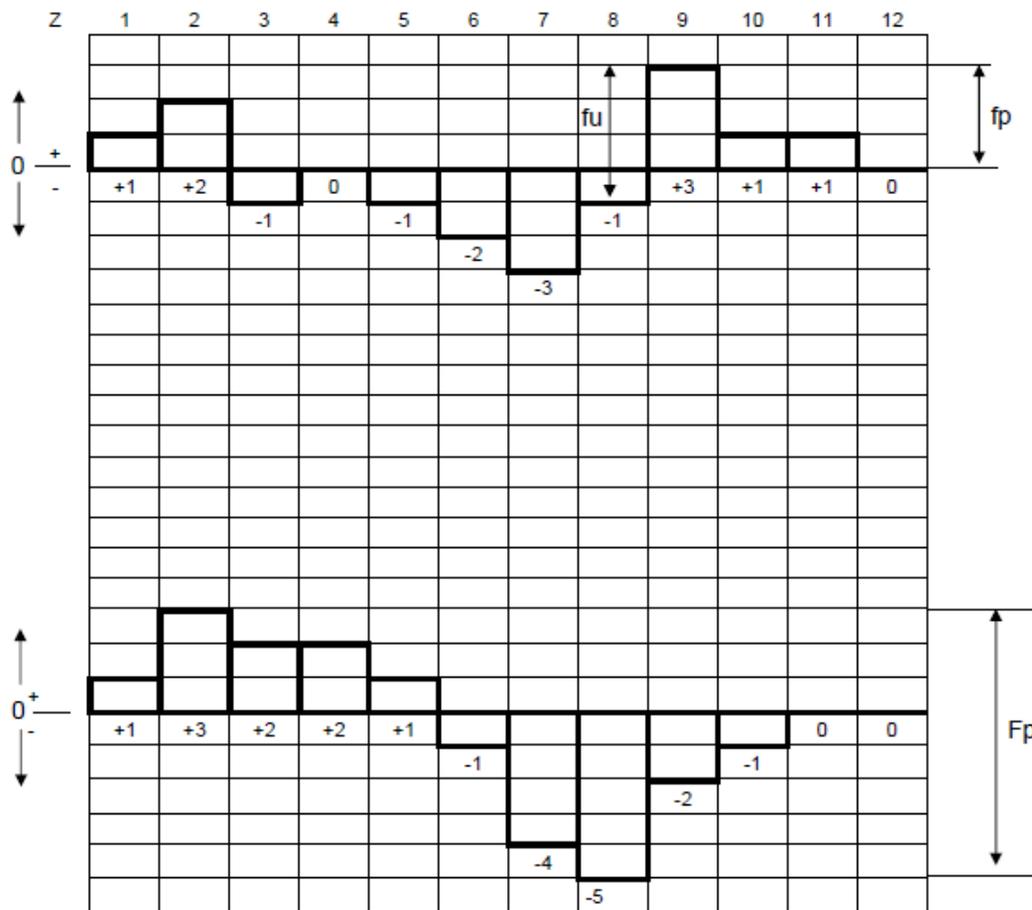


Figura 62: Errori di divisione

Nello stabilimento di Mirafiori che si occupa della produzione del cambio macchina modello C514 e C513, dal cartellino operativo del disegno della scatola differenziale completa, oltre al controllo degli errori di forma visti sopra, ci sono altre grandezze che hanno un ruolo importante nel buon funzionamento degli ingranaggi da tener sotto controllo. Essi sono:

- Distanza tra due sfere o rulli contrapposte (quota “M”); permette di controllare che lo spessore dente ossia spessore circonferenziale corrisponda a quello di progetto, quindi di capire se durante la rettifica è stato asportato più materiale oppure meno. La Quota “M” è valutata portando a tangenza in due vani contrapposti del pezzo dentato due sferette di diametro 4,762mm, che nel caso di conformità del pezzo, devono essere prossime al diametro primitivo a progetto del dente. Per la sua misura, si utilizza un calibro elettronico come illustrato nella figura sottostante.

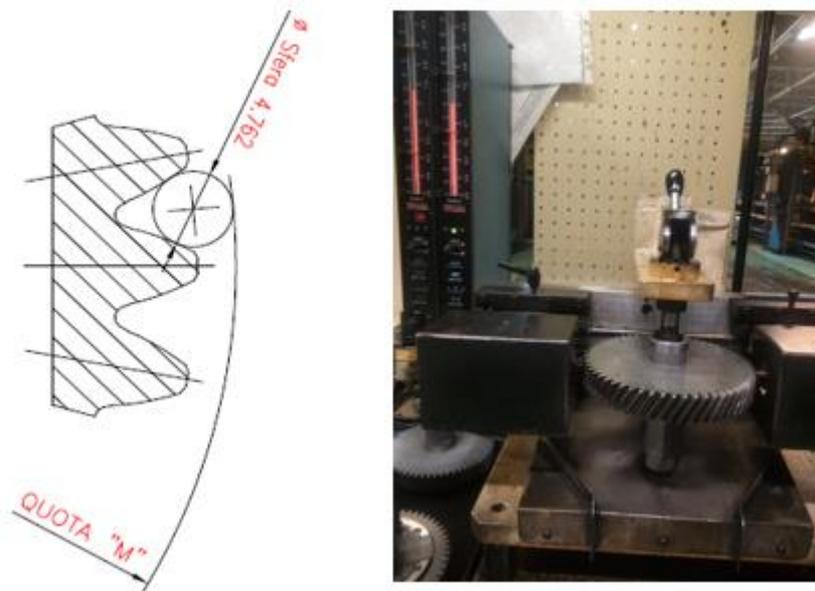


Figura 63: Misura quota “M”

La stessa misura viene fatta sulla contro ruota, e se la quota “M” è minore (asportazione eccessiva di materiale) oppure maggiore (asportazione poco materiale) di quella a progetto, avremo una condizione di gioco eccessivo sui fianchi nel primo caso e di interferenza nel secondo, che portano a un malfunzionamento dell’ingranaggio. Bisogna notare per avere queste condizioni di malfunzionamento, è sufficiente che una delle due ruote abbia una quota “M” fuori tolleranza.

Il Gradino di Rettifica (DGRET), cioè il diametro fino al quale bisogna asportare materiale durante la lavorazione di rettifica è collegata ma non in proporzione alla quota “M”. Prima si va a mettere la Quota “M” vicino al centro tolleranza e poi si verifica il DGRET che varierà al cambiare della quota “M” ma non dello stesso valore.

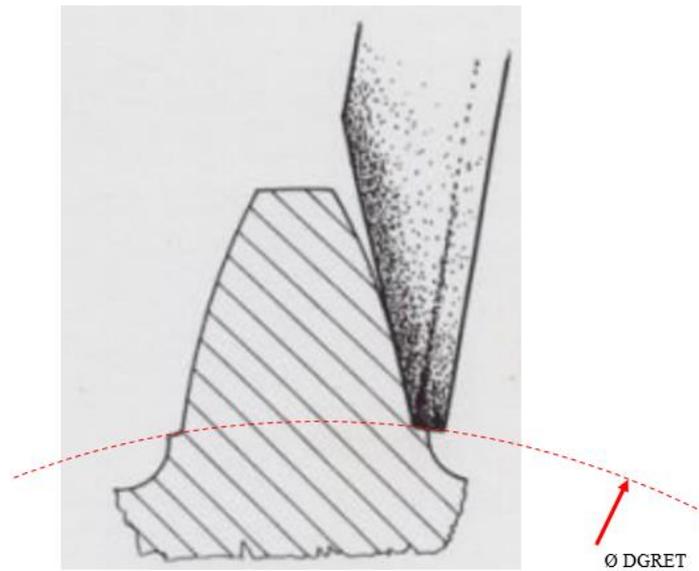


Figura 64: DGRET

Gli errori di forma sull'elica e sull'evolvente vengono rilevati dall'evolventimetro, il DGRET su un apparecchiatura tridimensionale. Per gli errori di forma sul profilo di evolvente e d'elica, la misura viene eseguita sul fianco destro e sinistro su due sezioni $0^\circ - 180^\circ$ e $90^\circ - 270^\circ$. Per quanto riguarda invece gli errori di divisione, le misure vengono fatte su tutti i denti della corona cilindrica.



Figura 65: misura errori di forma e di divisione aggiungere report evolventimetro

Al fine di ottenere una produzione conforme, le frequenze di controllo definite dal control plan e cartellino operativo sono le seguenti:

- Ad inizio turno;
- Ad ogni cambio tipo;
- Dopo sostituzione utensili;
- Dopo messa a punto macchina;
- Ogni 4 ore;

4.7 APPLICAZIONE SMED

Il progetto SMED sviluppato in questa tesi è stato fatto secondo l'approccio PDCA, cioè c'è stata una fase di analisi del problema, poi una ricerca delle soluzioni al problema, soluzioni che sono state controllate per vedere se erano adeguate alla risoluzione del problema identificato, e una volta certificate le soluzioni, sono state espansive in altre aree dello stabilimento.

4.7.1 PLAN

4.7.1.1 OSSERVAZIONE DEL SETUP ATTUALE

Nell'ottica di migliorare l'attività di cambio tipo, è stato necessario avere un'idea di come viene eseguito dagli operatori macchina. Lo scopo di questa fase è stato quello di assistere ad una attività di cambio tipo fatta normalmente osservando tutte le attività svolte dall'operatore.

Prima di tutto sono stati analizzati gli strumenti utilizzati durante setup. Nella figura 66, sono rappresentati tutti gli utensili necessari per eseguire un cambio tipo sulla macchina di rettifica.

- Cambio mola di rettifica



Figura 68: cambio mola

- Cambio rullo di profilatura della mola e Esecuzione profilatura



Figura 69: rullo profilatura

- Produzione primo pezzo
- Controllo in SAI (Sala Analisi Ingranaggi): se il pezzo prodotto rispetta le norme di progetto, il conduttore può iniziare con la produzione; nel caso contrario, bisogna fare alcune modifiche su parametri di lavorazione.



Figura 70: sala analisi ingranaggi

- Correzioni: se dopo le verifiche in SAI il pezzo non è in tolleranza, bisogna modificare i parametri di lavorazione con lo scopo di avere tutti i parametri nel campo di tolleranza richiesto, e quindi rifare un nuovo controllo in SAI.

Le macro attività elencate sopra possono essere spezzettate in micro attività, che come si vede nella tabella 4, sono stati rilevati i tempi di ogni attività in diversi giorni.

Macro attività	Attività	Turni Descrizione	A		B		C		A		B		C		A		B		C		A		B	
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A
1	Svuotamento della linea	1	Svuotamento della linea	8	9	9	8	11	9	8	9	8	9	8	8	9	8	8	10	9	9	10	10	9
2	Utensili	2	Preparazione utensili	3	4	3	5	3	3	4	4	5	3	3	4	3	2	3	2	3	2	4	3	
3	Cambio mola di rettifica	3.1	Montaggio mola in macchina	8	8	9	8	8	8	9	9	8	9	9	10	8	8	9	10	8	8	10	10	
		3.2	Bilanciamento mola	3	2	2	3	3	4	3	3	2	3	2	3	4	3	3	4	2	3	3	3	
4	Cambio rullo profilatore e profilatura mola	4.1	Montaggio rullo in macchina	8	7	5	7	8	5	7	5	6	7	8	5	7	7	5	8	6	5	6	8	
		4.2	Posizionamento assi per profilatura	7	6	7	6	6	8	8	7	7	5	6	8	8	7	8	8	6	8	8	7	
		4.3	Prima profilatura	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	11	9	11	9	9	10	9	10	9	9	
		4.4	Seconda profilatura	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	
		4.5	Terza profilatura	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	
		4.6	Quarta profilatura	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5	
5	Centrata mandrini e produzione primo pezzo	5.1	Fasatura con sonda	3	5	4	3	4	4	3	4	4	3	3	5	4	3	4	3	3	5	3	3	
		5.2	Centrata primo mandrino	6	7	6	6	8	8	7	6	8	6	7	7	7	6	8	8	6	7	6	7	
		5.3	Centrata secondo mandrino	6	7	6	6	8	8	7	6	8	6	7	7	7	6	8	8	6	7	6	7	
6	Controllo qualità	6.1	Preparazione calibro elettronico e	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	
		6.2	Controllo quota "M"	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1
		6.3	Lavare, asciugare e portare il primo pezzo in	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	7	7	
		6.4	Controllo ZEISS	9	8	7	7	8	8	8	9	9	7	7	8	8	7	9	8	8	8	7	8	
		6.5	Verifica SAI	18	20	20	18	22	20	20	24	19	18	20	18	22	18	18	20	20	21	19	20	
7	Correzioni	7	Seko, rilavorazione e controllo qualità	24	20	0	25	19	21	15	0	20	22	0	21	0	23	23	25	21	0	25	24	
Totale con correzione			137	138	112	139	141	143	136	118	138	131	120	134	122	133	140	151	131	121	139	144		

Tabella 4: tempi attività cambio tipo

Nella tabella 4 si osserva che il tempo di cambio tipo varia da un operatore all'altro e come si nota si sono evidenziati l'operatore peggiore (rosso) e il migliore (verde).

Essendo tutte le attività eseguite durante il cambio tipo uguale, bisogna standardizzare il processo sul miglior tempo impiegato per svolgere ogni attività. Partendo da questa idea, vengono evidenziati (come mostrato nella tabella 5) per ogni attività del cambio tipo il miglior tempo impiegato.

Macro attività	Attività	Turni Descrizione	A		B		C		A		B		C		A		B		C		A		B	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	Svuotamento della linea	1	8	9	9	8	11	9	8	9	8	8	9	8	8	8	8	10	9	9	10	10	9	
2	Utensili	2	3	4	3	5	3	3	4	4	5	3	3	4	3	4	3	4	3	5	4	3		
3	Cambio mola di rettifica	3.1	8	8	9	8	8	8	9	9	8	9	9	10	8	8	9	10	8	8	10	10		
		3.2	3	2	2	3	3	4	3	3	2	3	2	3	4	3	3	4	2	3	3	3		
4	Cambio rullo profilatore e profilatura mola	4.1	8	7	5	7	8	5	7	5	6	7	8	5	7	7	5	8	6	5	6	8		
		4.2	7	6	7	6	6	8	8	7	7	5	6	8	8	7	8	8	6	8	8	7		
		4.3	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	11	9	11	9	9	10	9	10	9	9		
		4.4	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5		
		4.5	3	5	4	5	3	5	5	4	3	4	5	3	3	5	4	5	4	5	3	5		
		4.6	4	5	4	5	4	5	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	4	5	4	5		
5	Centratura mandrini e produzione primo pezzo	5.1	3	5	4	3	4	4	3	4	4	3	3	5	4	3	4	3	3	5	3	3		
		5.2	6	7	6	6	8	8	7	6	8	6	7	7	7	6	8	8	6	7	6	7		
		5.3	6	7	6	6	8	8	7	6	8	6	7	7	7	6	8	8	6	7	6	7		
6	Controllo qualità	6.1	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3		
		6.2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1		
		6.3	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	7	7	7		
		6.4	9	8	7	7	8	8	8	9	9	7	7	8	8	7	9	8	8	8	7	8		
		6.5	18	20	20	18	22	20	20	24	19	18	20	18	22	18	18	20	20	21	19	20		
7	Correzioni	7	24	20	0	25	19	21	15	0	20	22	0	21	0	23	23	25	21	0	25	24		
Totale con correzione			136	138	112	139	140	143	136	118	137	131	120	135	121	135	140	153	131	124	138	144		

Tabella 5: analisi tempi migliori

Con l'analisi dei tempi migliore, ogni conduttore ha potuto seguire un training accelerato sulla parte del processo dove aveva delle mancanze. Così facendo, è stata definita una procedura standard (tabella 6) di partenza per l'attività di cambio tipo, procedura sulla quale tutti i conduttori macchina impiegano lo stesso tempo per l'attività di cambio.

In questa procedura standard, l'attività 7 (rilavorazione in caso di non conformità del pezzo) non subisce una standardizzazione sul tempo migliore il semplice motivo che dipende dalla conformità o no del primo pezzo prodotto, aspetto che verrà meglio spiegato negli steps successivi.

Con questa procedura di standardizzare le operazioni di setup prima di iniziare a migliorare oppure eliminare quelle che possono essere attaccate in quel senso, si nota un abbassamento del tempo totale di cambio tipo.

Reishauer 004			Data	14/12/18	14/12/18	14/12/18	Somma macro attività (min)	Media attività (min)	
Macro operazioni	# ID	IE	Shift	A	B	C			
1	Svuotamento Macchina	1		Svuotamento della linea	8	8	8	8,0	8,0
2	Utensili	2		Preparazione utensili	3	3	3	3,0	3,0
3	Cambio mola di rettifica	3.1		Montaggio mola in macchina	8	8	8	10,0	8,0
		3.2		Bilanciamento mola	2	2	2		2,0
4	Cambio rullo profilatore e profilatura mola	4.1		Montaggio rullo in macchina	5	5	5	29,0	5,0
		4.2		Posizionamento assi per profilatura	6	6	6		6,0
		4.3		Prima profilatura	9	9	9		9,0
		4.4		Seconda profilatura	3	3	3		3,0
		4.5		Terza profilatura	3	3	3		3,0
		4.6		Quarta profilatura	3	3	3		3,0
5	Centratura mandrini e produzione primo pezzo	5.1		Fasatura con sonda	3	3	3	15,0	3,0
		5.2		Centratura primo mandrino	6	6	6		6,0
		5.3		Centratura secondo mandrino	6	6	6		6,0
6	Controllo qualità	6.1		Preparazione calibro elettronico e caricamento pezzo master	3	3	3	36,0	3,0
		6.2		Controllo quota "M"	1	1	1		1,0
		6.3		Lavare, asciugare e portare il primo pezzo in SAI	7	7	7		7,0
		6.4		Controllo ZEISS	7	7	7		7,0
		6.5		Verifica SAI	18	18	18		18,0
7	Correzioni	7.1		Se ko, rilavorazione e controllo qualità	25	25	25	25,0	25,0
				Totale	126	126	126		126,0

Tabella 6: raccolta dati dopo selezione dei tempi migliori

Una rappresentazione grafica della percentuale di tempo di setup di ogni macro attività è descritta nella figura 72.

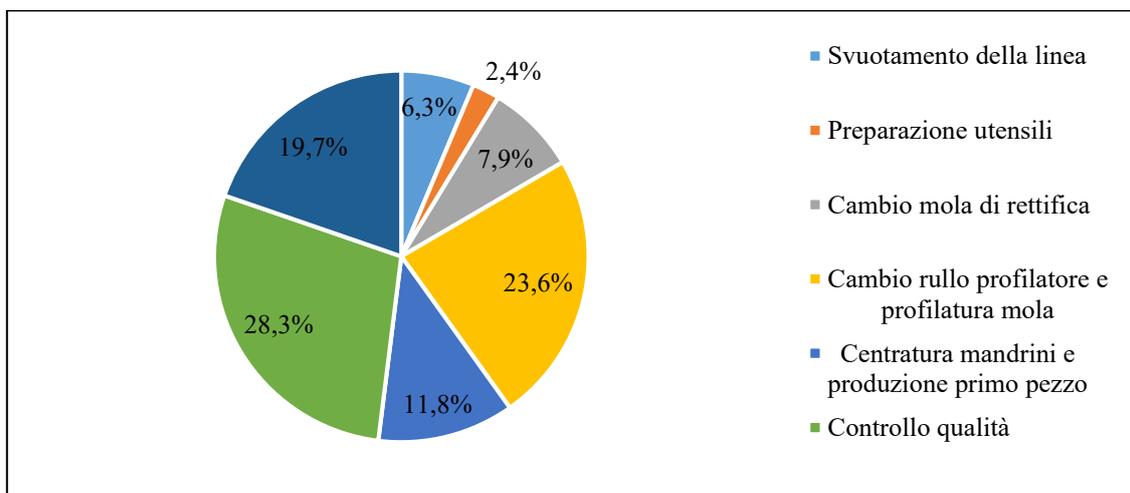


Figura 72: macro operazioni cambio tipo

4.7.1.2 CLASSIFICAZIONE DELLE OPERAZIONI IN INTERNE E ESTERNE.

A questo punto, si tratta di separare tutte le attività rilevate precedentemente in due gruppi: quelle fatte con macchina ferma (IED) e quelle fatte con macchina che lavora (OED).

Reishauer 004			Data			Somma macro attività (min)	Media attività (min)			
Macro operazioni	#ID	IE	Shift	14/12/18	14/12/18			14/12/18		
1	Svuotamento Macchina	1	EXT	Svuotamento della linea	8	8	8	8,0	8,0	
2	Utensili	2	INT	Preparazione utensili	3	3	3	3,0	3,0	
3	Cambio mola di rettifica	3.1	INT	Montaggio mola in macchina	8	8	8	10,0	8,0	
		3.2	INT	Bilanciamento mola	2	2	2		2,0	
4	Cambio rullo profilatore e profilatura mola	4.1	INT	Montaggio rullo in macchina	5	5	5	29,0	5,0	
		4.2	INT	Posizionamento assi per profilatura	6	6	6		6,0	
		4.3	INT	Prima profilatura	9	9	9		9,0	
		4.4	INT	Seconda profilatura	3	3	3		3,0	
		4.5	INT	Terza profilatura	3	3	3		3,0	
5	Centratore mandrini e produzione primo pezzo	5.1	INT	Fasatura con sonda	3	3	3	15,0	3,0	
		5.2	INT	Centratore primo mandrino	6	6	6		6,0	
		5.3	INT	Centratore secondo mandrino	6	6	6		6,0	
6	Controllo qualità	6.1	INT	Preparazione calibro elettronico e caricamento pezzo master	3	3	3	36,0	3,0	
		6.2	INT	Controllo quota "M"	1	1	1		1,0	
		6.3	INT	Lavare, asciugare e portare il primo pezzo in SAI	7	7	7		7,0	
		6.4	INT	Controllo ZEISS	7	7	7		7,0	
		6.5	INT	Verifica SAI	18	18	18		18,0	
7	Correzioni	7.1	INT	Se KO, rilavorazione e controllo qualità	25	25	25	25,0	25,0	
Totale					126	126	126		126,0	
					EXT	8	8	8		8,0
					INT	118	118	118		118,0

Tabella 7: attività interne e esterne

4.7.2 DO

4.7.2.1 ESECUZIONE DELLE ATTIVITÀ FUORI DAL SETUP

Come lo si può vedere dalla tabella 6, tutte le attività sono fatte a macchina ferma e quindi non esistono attività svolte a macchina che lavora.

4.7.2.2 CONVERSIONE DELLE ATTIVITÀ INTERNE IN ESTERNE

Nel diagramma di Pareto mostrato sotto, ci sono tutte le attività svolte con le relative proporzioni temporali.

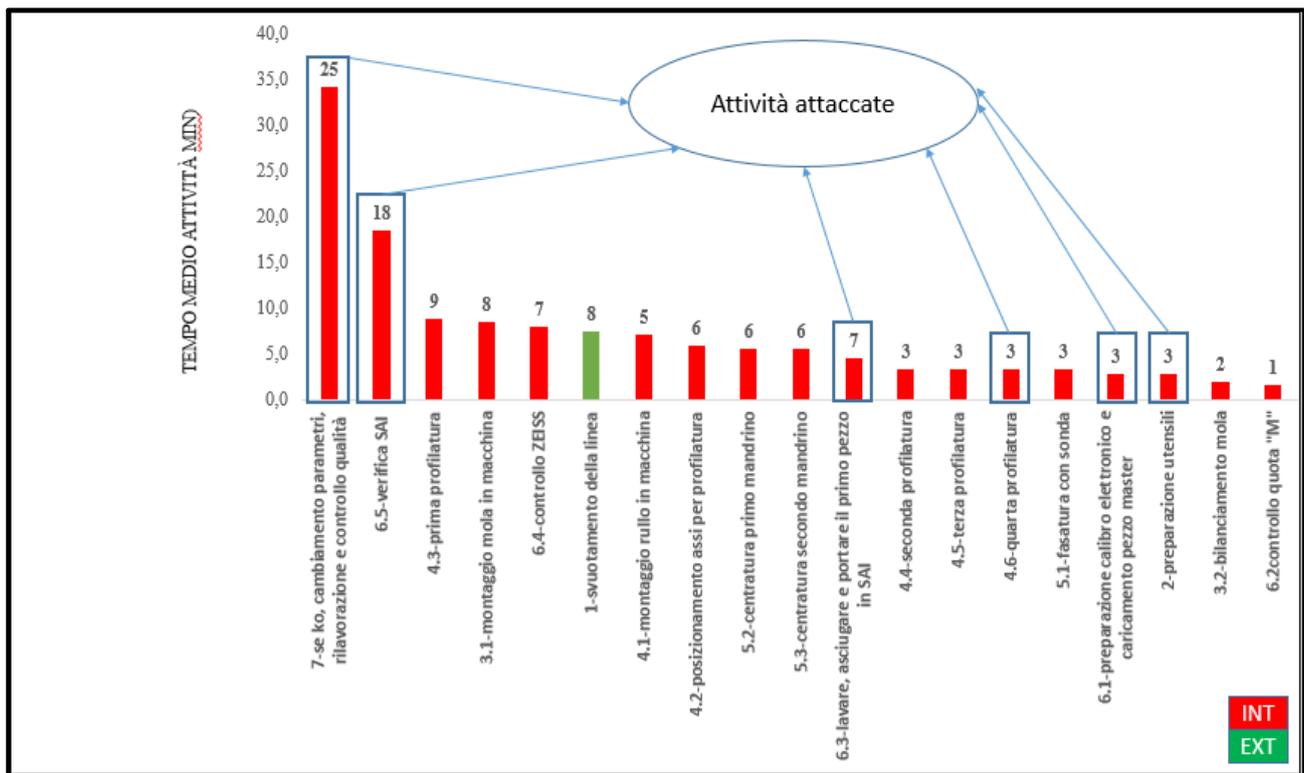


Figura 73: attività cambio tipo

- Attività 6.1: il montaggio del delta master sul calibro elettronico; **tempo medio 3 minuti**
Questa operazione veniva fatta dopo la produzione del primo pezzo del lotto quindi quando la macchina è ferma. Ora sapendo a priori quale rapporto di trasmissione sarà prodotto dopo, questa fase viene eseguita mentre la produzione del vecchio è ancora in corso.

- Attività 2: preparazione utensili; **tempo medio 3 minuti**

Tutti gli strumenti necessari per il cambio tipo erano preparati una volta fermata la macchina. Adesso una volta che la logistica dello stabilimento stabilisce quale rapporto verrà prodotto dopo, vengono preparati tutto il materiale che concorre alla sua produzione prima che la macchina finisca di lavorare l'altro lotto.

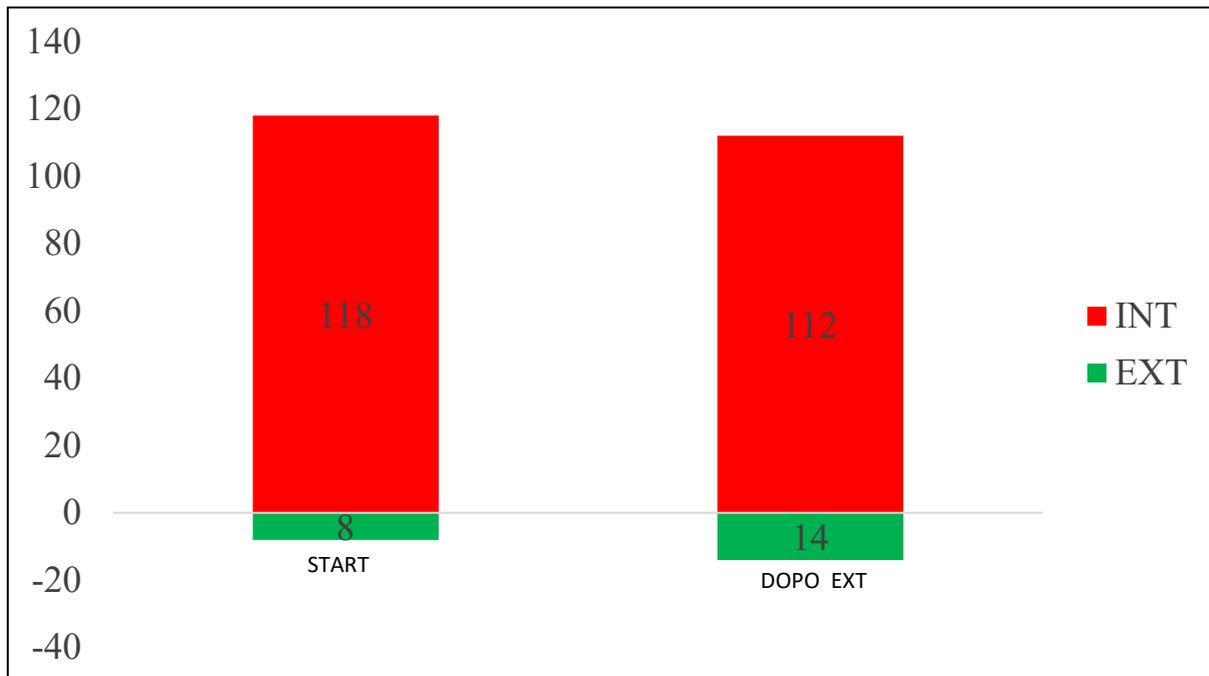


Figura 74: conversione attività interne in esterne

4.7.2.3 RIDUZIONE DEL TEMPO DELLE ATTIVITA' INTERNE

Una volta che sono state esternalizzate alcune attività che erano interne al setup, in questo step si sono analizzate le possibilità di abbassare il tempo di esecuzione delle attività interne al setup che non hanno potuto essere portate fuori dal tempo di setup.

- Attività 4.6: quarto ciclo di profilatura; *tempo medio 3 minuti*

Questo ciclo di profilatura era necessario all'operatore al fine di ottenere dei risultati sull'elica e l'evolvente che siano conformi. Con le correzioni fatte sul pezzo master a monte, con la robustezza della macchina, questo passaggio è stato eliminato dalle attività di cambio tipo dato che si è notato che con 3 passate di profilatura della mola con il rullo si ottiene lo stesso risultato che con 4 passate.

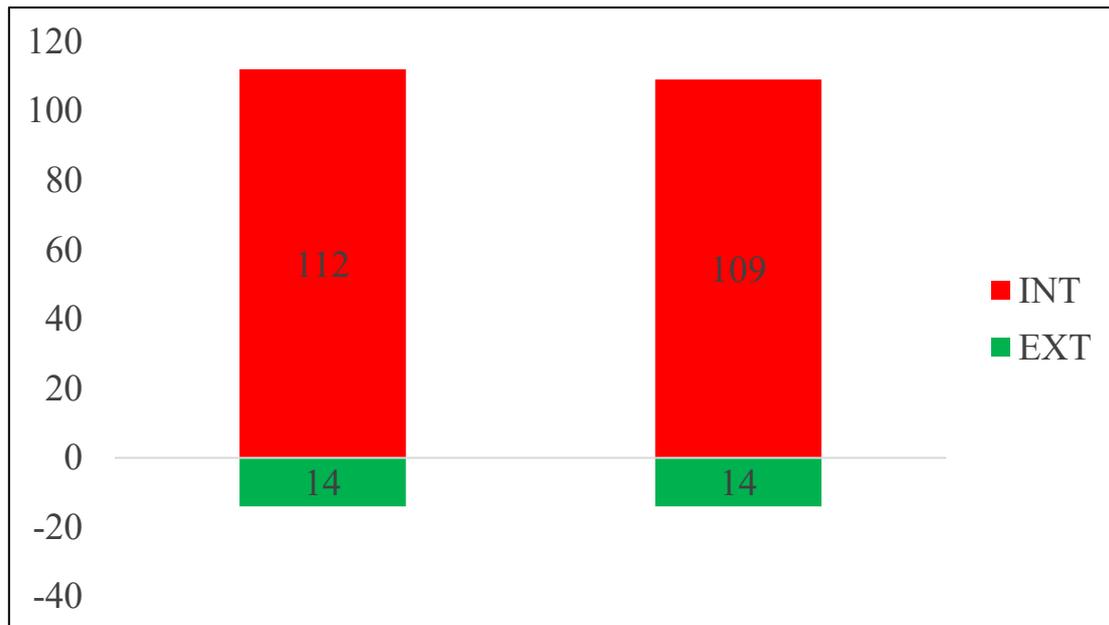


Figura 75: tempo medio dopo modifica operazione 4.6

- Attività 6.3: lavare, asciugare e portare pezzo in SAI; **tempo medio 7 minuti**

Una volta portato il primo pezzo in SAI per il controllo qualità, il conduttore lo lascia in SAI e torna in linea dato che la macchina sta producendo in lotto sospeso. Se il pezzo controllato non è conforme, deve tornare in SAI per capire quale parametro è fuori tolleranza poi tornare di nuovo in linea al fine di risolvere il problema.

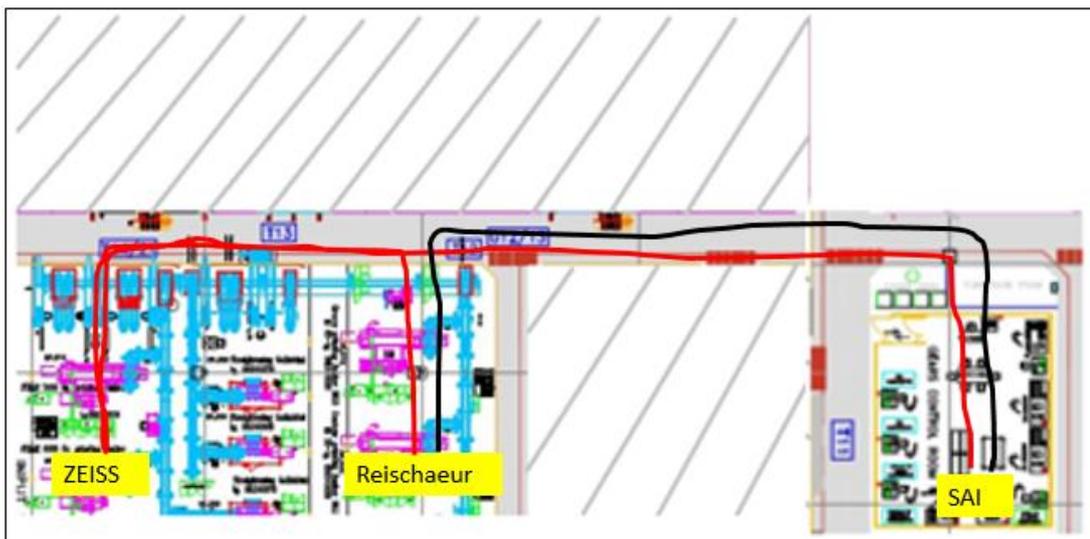


Figura 76: spaghetti chart

La spaghetti chart evidenzia il percorso fatto dal conduttore per andare in SAI (rosso) e per tornare sulla postazione di lavoro (nero). Per evitare all'operatore macchina di fare tutti questi giri in SAI ogni volta che deve avere l'approvazione o no di iniziare con la produzione, è stata messa a sua disposizione un dispositivo elettronico (computer connesso ai PC della SAI) che gli permette di ricevere direttamente in linea i report dei controlli fatti in SAI.



Figura 77: evoluzione tempo medio totale

Questa soluzione ha permesso di guadagnare 3 minuti sul tempo di cambio. È il tempo che impiega il conduttore per percorrere la distanza che separa la sua postazione di lavoro e la SAI come mostrato dal spaghetti chart sopra.

- Attività 6.5: verifiche SAI; ***tempo medio 18 minuti***

Essendo controllati in SAI tutti i particolari dentati prodotti nello stabilimento, i tempi di attesa per un controllo sono abbastanza lunghi. I controlli sono fatti a inizio turno, dopo quattro ore e dopo cambio tipo. Durante i controlli per variabile (a inizio turno, dopo quattro ore) la macchina non viene fermata, mentre lo è per quando riguarda i controlli dopo cambio tipo perché bisogna assicurarsi della bontà del nuovo lotto. È stato necessario riordinare il sistema di controllo in SAI dando la precedenza

ai particolari provenienti da cambio tipo, in modo da non lasciare la macchina ferma per tanto tempo. Facendo questo passaggio, si è potuto risparmiare tre minuti sul tempo di collaudo in SAI.

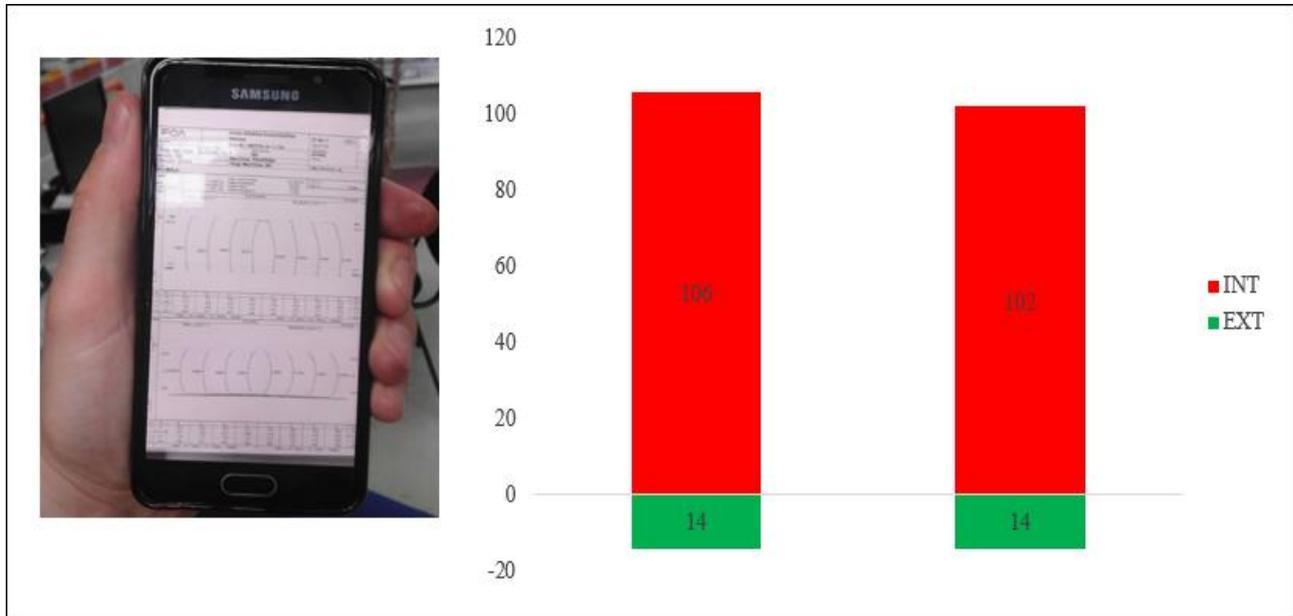


Figura 78: tempo medio dopo modifica attività 6.5

- Attività 7: correzioni dovute alla non conformità del pezzo; **tempo medio 25 minuti.**

Una volta il primo pezzo prodotto, viene portato in SAI per la verifica degli errori di forma visti sopra. Quindi si controllano gli errori sull'elica, l'evolvente, gli errori di divisione sui fianchi dei denti e totale, la Fr, e il diametro gradino di rettifica. Nel frattempo la macchina sta producendo particolari che saranno identificati come lotto sospetto fino al bene stare della SAI.

Tutte le tipologie di ingranaggi del cambio C514.5.13 essendo controllati in SAI, il tempo di verifica in SAI era abbastanza lungo.

Il risultato delle verifiche viene stampato sotto forma di un report (vede figura 79), e nel caso in cui uno dei parametri sopracitati è fuori tolleranza, il pezzo risulta **non conforme** implicando una reimpostazione dei parametri in macchina, una nuova lavorazione di rettifica e un nuovo controllo in SAI. Questo ciclo continua fino a che il primo pezzo prodotto rientra nelle specifiche di tolleranze richiesto dal cartellino operativo del pezzo. La ripetizione di queste operazioni hanno evidentemente un effetto negativo, perché vanno ad allungare il tempo di cambio tipo, sottolineando

che il fatto di aver il primo pezzo non conforme aumenta di tre/quattro volte il tempo di verifica in SAI.

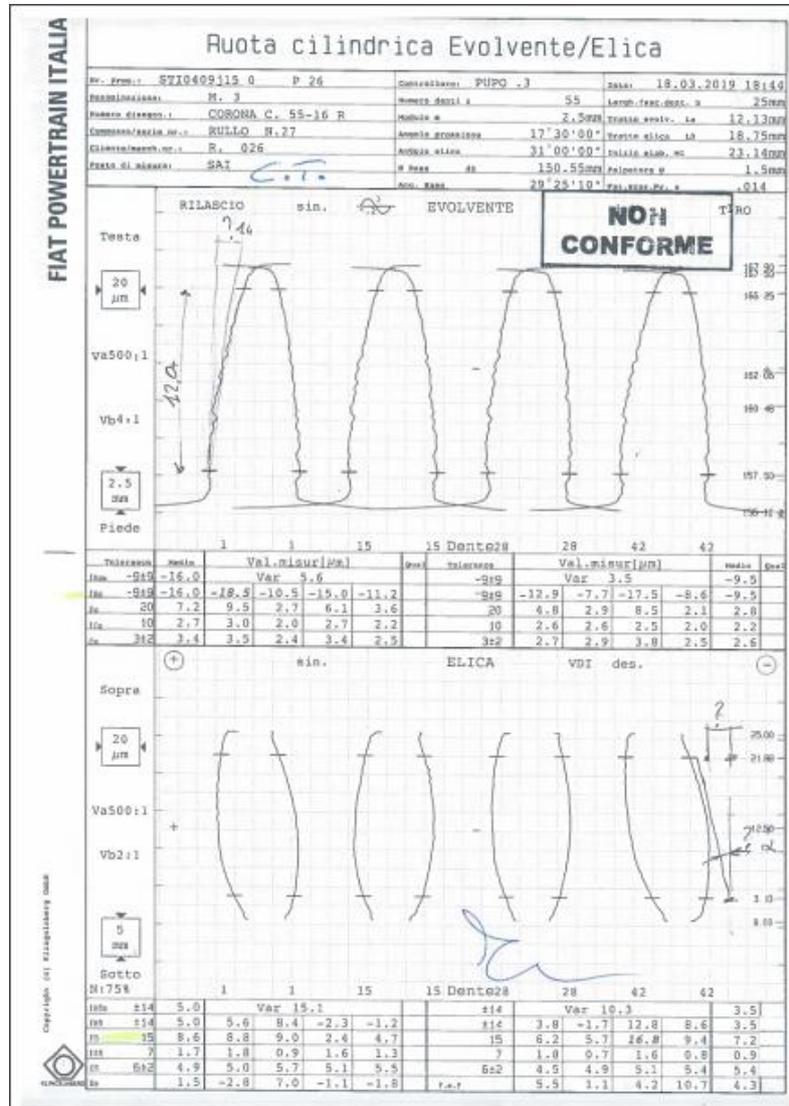


Figura 79: report SAI

Durante il periodo di svolgimento della tesi, si è notato che una percentuale di cambio tipo veniva ripetuta per non conformità del primo pezzo prodotto. L'obiettivo era quello di capire a che cosa erano dovuti quegli errori sul primo pezzo prodotto.

Dopo un'analisi del processo è emerso un problema durante l'azzeramento della quota "M" sul calibro con il *pezzo master*. Infatti, come visto sopra, una delle fasi del processo è la misura della

quota “M” del primo pezzo prodotto. Il calibro deve essere prima azzerato con l’ausilio di un pezzo master con quota “M” richiesta a disegno.



Figura 80: calibro e delta master

Il problema emerso dell’analisi è il seguente:

I fianchi dei denti del pezzo master essendo soggetti a contatti frequenti da parte delle due sfere del calibro, si logorano col passare del tempo (figura 81), modificando i contatti, di conseguenza i particolari verranno prodotti sul minimo della tolleranza di quota “M”, come illustrato nella tabella7.

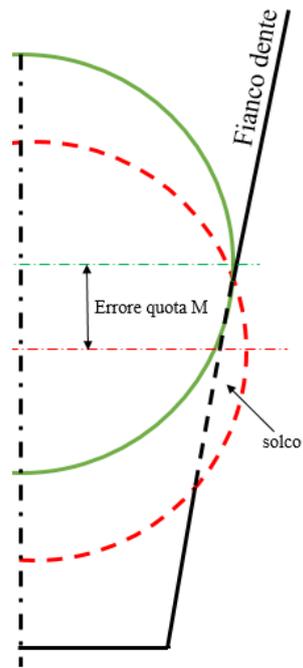


Figura 81: fianco dente con solco

Tolleranze Rapporto	A	B	C	D	D - B
	Toll. Massima	Toll. Nomimale	Toll. Minima	Toll. Rilevata	
55/16	168,271	168,215	168,159	168,163	-0,052
				168,162	-0,053
				168,18	-0,035
64/13	179,761	179,705	179,649	179,646	-0,059
				179,645	-0,06
				179,654	-0,051
63/14	177,385	177,33	177,275	177,273	-0,057
				177,325	-0,005
				177,275	-0,055
57/16	168,714	168,655	168,596	168,601	-0,054
				168,599	-0,056
				168,611	-0,044
57/14	173,254	173,199	173,144	173,148	-0,051
				173,175	-0,024
				173,147	-0,052
56/15	170,671	170,615	170,559	170,561	-0,054
				170,557	-0,058
				170,605	-0,01

Tabella 8: rilevazione quota "M"

Come sarà dimostrato in seguito, il fatto di avere la quota “M” minorata si ripercuoterà sulla valutazione degli errori sull’elica, l’evolvente e DGRET.

Un altro fattore che influenza i profili a d’evolvente e a d’elica è l’errore di divisione Fr dell’asse di un dente rispetto a quello subito adiacente. Tale errore può essere trasformato in errore di concentricità (che può essere controllate in U.T.E con il calibro elettronico usato per la verifica della quota “M”) tramite l’espressione indicata sotto.

In figura 82, A e B sono denti adiacenti in cui B presenta un errore di divisione maggiore rispetto a tutti gli altri denti della corona.

Dato x uno spostamento di divisione rilevato con il tastatore, lo scostamento y di concentricità rilevato con la sfera (a contatto sui due fianchi) risulta calcolabile da:

$$y = \frac{x}{(2 \times \operatorname{tg} \alpha)}$$

Con α si intende l’angolo di pressione in corrispondenza dei punti di contatto con la sfera.

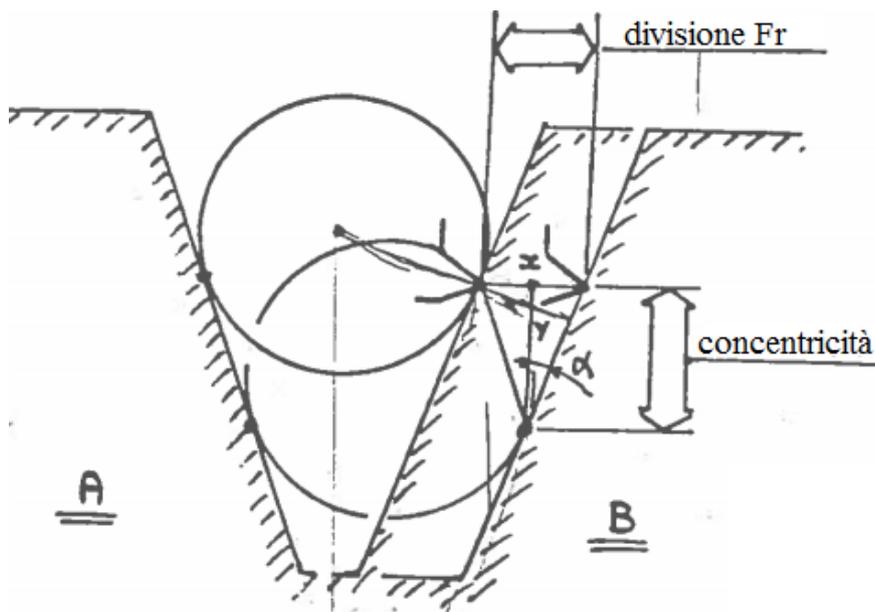


Figura 82: correlazione tra errore di divisione e concentricità

Presi insieme oppure singolarmente, questi errori di concentricità e di quota “M” vanno a influenzare i valori di elica ed evolvente.

Prima di entrare nel dettaglio delle migliorie fatte, bisogna capire come si deve presentare il profilo d’elica e di evolvente di un dente che rispetta tutte le caratteristiche richieste a progetto. La figura sottostante fa vedere questi profili con i relativi errori angolari a essi associato.

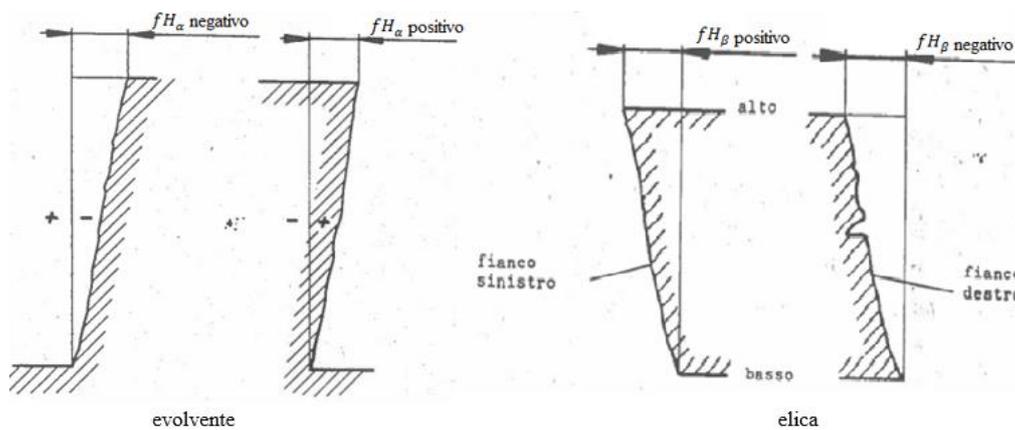


Figura 83: Errori angolare sui profili d’elica e d’evolvente

L’obiettivo è quindi di sapere di quanto gli errori di quota “M” e di concentricità vanno ad influire sugli errori angolare d’elica e d’evolvente sul rapporto di trasmissione 16/55. Il report di un particolare pezzo analizzato in SAI è mostrato nella figura 79:

- Errore angolare sull’elica: per sapere quanto vale l’errore angolare sull’elica, bisogna prima sapere di quanto vale $\Delta\beta$.

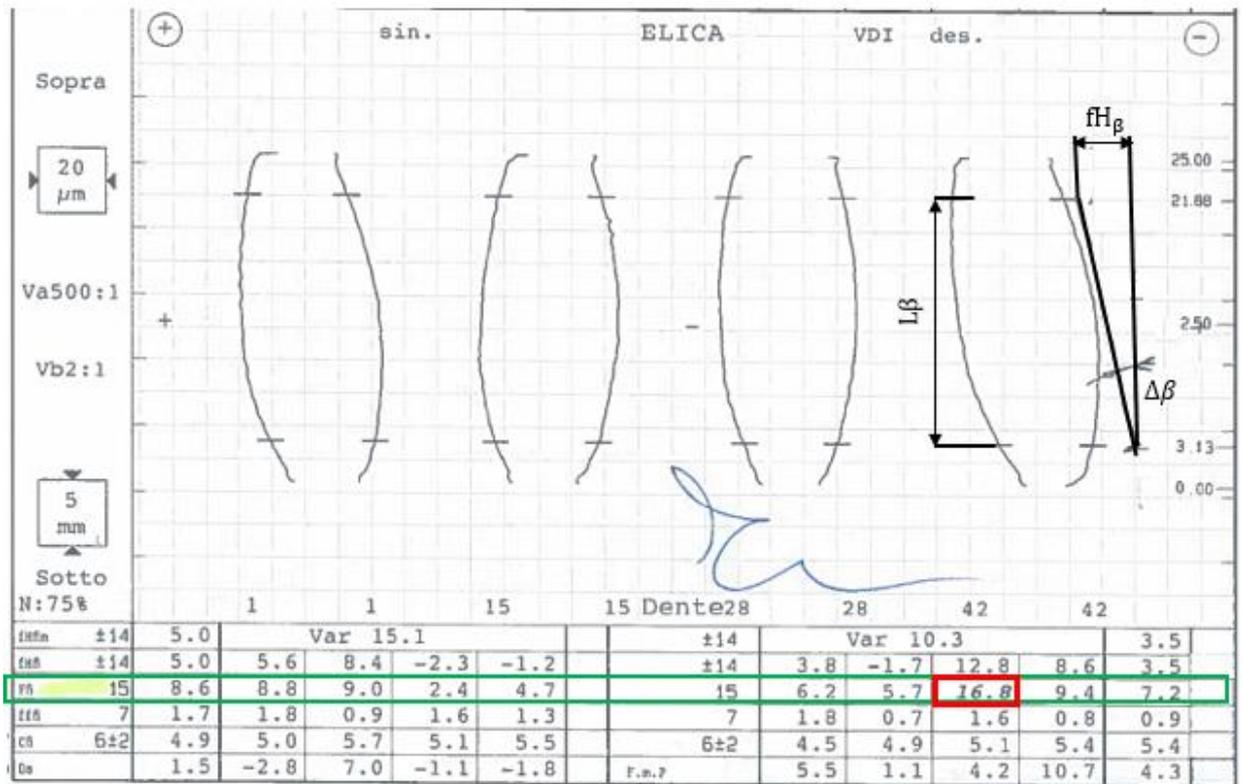


Figura 84: report elica

$\Delta\beta$: differenza tra angolo di elica e quello rilevato.

$L\beta$: lunghezza di valutazione.

Avendo l'angolo di elica e il diametro primitivo a progetto, è stato ricavato il passo dell'elica che come si vede nella figura 85, è lo stesso su tutti i diametri (primitivo, di base, di testa).

Per ricavare il nuovo diametro primitivo, è stato tenuto conto dell'errore di quota "M" e di concentricità (y) che vanno a diminuire la quota "M" del pezzo rispetto a quello di progetto.

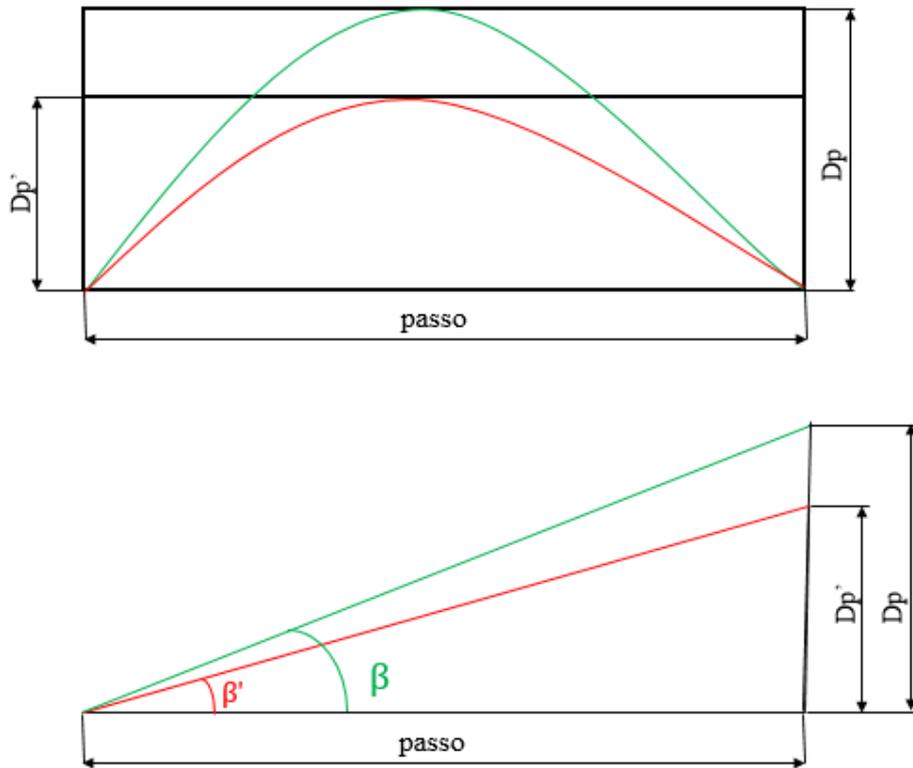


Figura 85: calcolo passo e angolo d'elica sul Dp' (cambiare la prima figura)

Facendo riferimento alle figure sopra:

$$Dp' = Dp - \text{errore } qM - \mathcal{Y}/2$$

$$p = \frac{\pi \times Dp}{\text{tg}\beta}$$

$$\beta' = \text{arctg}\left(\frac{\pi \times Dp'}{p}\right)$$

$$\Delta\beta = \beta - \beta'$$

$$fH_{\beta} = \text{tg}\Delta\beta \times L_{\beta}$$

L_{β} : lunghezza di valutazione (mm)

\mathcal{Y} : errore di concentricità (mm)

P: passo (mm)

D_p = diametro primitivo nominale (mm)

$D_{p'}$: diametro di tangenza delle sferette nel vano dei denti (mm)

β' : angolo d'elica sul $D_{p'}$

Con le formule descritte sopra, sono stati rilevati i valori mostrati nelle tabella 8.

D_p	$D_{p'}$	P_e	L_β	β	β'	$\Delta\beta$	q_M	Fr	fH_β
160,412	160,3366	838,7122	12	31	30,9881	0,011897	0,035	0,040438	0,003862

Tabella 9: calcolo fH_β

Si può notare che un errore di quota “M” cumulato ad un errore di divisione Fr va ad aumentare l'errore angolare del fianco del dente (fH_β) di una quantità pari a $3,862\mu\text{m}$.

Dal report del profilo dell'elica mostrato in figura 84, tra i quattro denti controllati, il valore di f_β è di $16,8\mu\text{m}$ (non conforme). Quindi sottraendo errori di quota “M” e di concentricità che aumentano il valore angolare del fianco dente, i valori d'elica sarebbero stati conformi.

- Errore angolare sull'evolvente: anche in questo caso, una modifica del diametro primitivo mantenendo il diametro di base costante porta a una variazione dell'angolo di pressione.

Avendo un tastatore che per rilevare il profilo a evolvente si muove in direzione trasversale, è stato necessario lavorare con l'angolo di pressione trasversale e non quello normale al dente.

$$D_b = D_{p'} \times \cos\alpha'_t$$

$$\text{tg}\alpha'_t = \frac{\text{tg}\alpha'}{\cos\beta'}$$

D_b : diametro di base (mm)

α'_t : angolo di pressione trasversale sul D_p'

α' : angolo di pressione normale

D_p	D_p'	P_e	L_α	α_t	α'_t	$\Delta\alpha_t$	q_M	Fr	fH_α
160,412	160,3366	838,7122	18,6	17,5	20,12197	-2,6219	0,035	0,080876	0,015388

Tabella:10 calcolo fH_α

Anche nel caso del profilo ad evolvente,

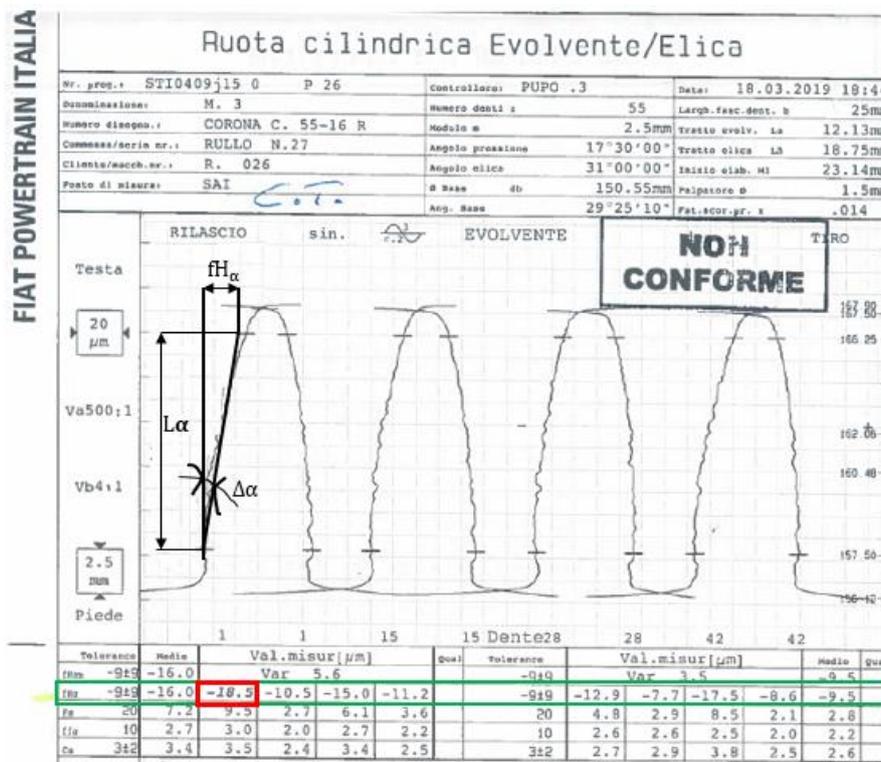


Figura 85: report evolvente

Per ovviare a queste problematiche citate, è stata progettata e prodotta una maschera (figura 86) da montare sul master. Il suo ruolo è quello di permettere al conduttore macchina di utilizzare i vani giusti durante l'azzeramento della quota "M".

Come si vede dalla figura 87, una volta montata sul master oppure sul pezzo, la maschera lascia solo tre vani liberi per effettuare le verifiche di quota "M"; il vano centrale serve per l'azzeramento del

calibro, mentre quelli laterali sono utilizzati alla fine di ogni settimana per capire se il vano centrale è bollato oppure no:

Quando si rilevano, tramite la misura della quota “M”, dei solchi sui vani centrali, il master viene portato in sala metrologica per segnare tali vani e ruotare la maschera posizionandola in quelli non bollati.

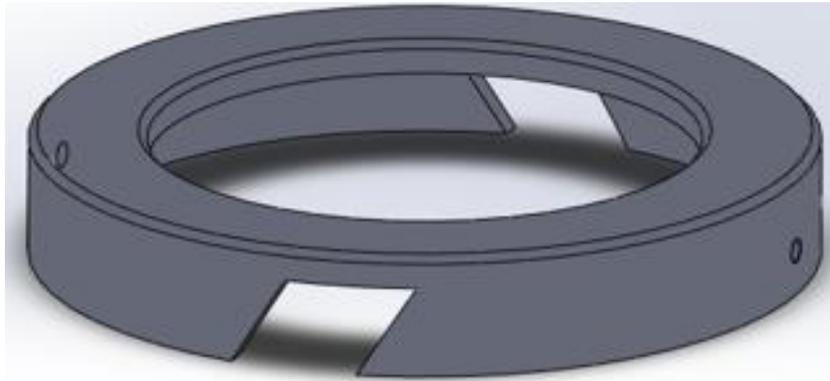


Figura 86: maschera

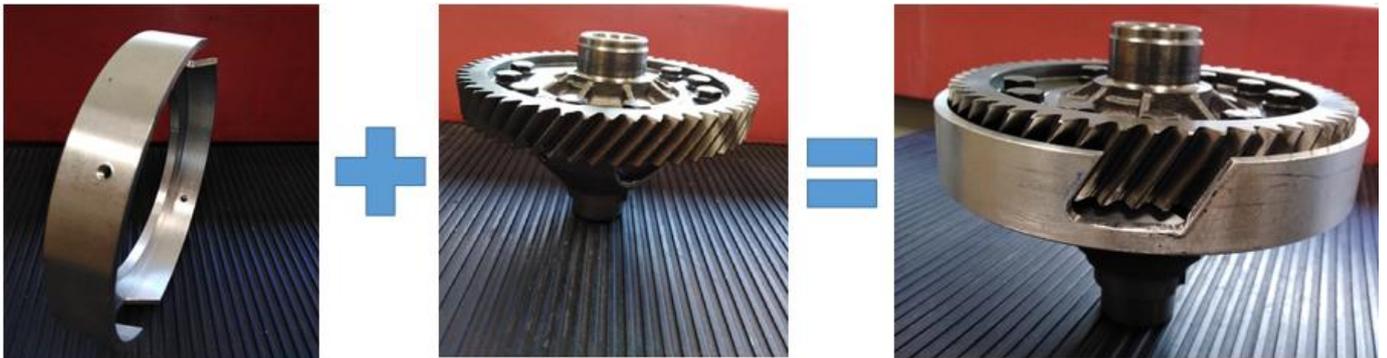


Figura 87: maschera montata sul pezzo



Prima



Dopo

Figura 88: verifica quota “M”

Con queste operazioni, dato che sono capaci di misurarli con il calibri elettronici presenti sulla postazione di lavoro, gli operatori prima di portare il primo pezzo prodotto in SAI, verificano la quota “M” e la concentricità, evitando così più passaggi in SAI per degli errori che la maggior parte del tempo sono capaci di controllare e di mettere a posto.

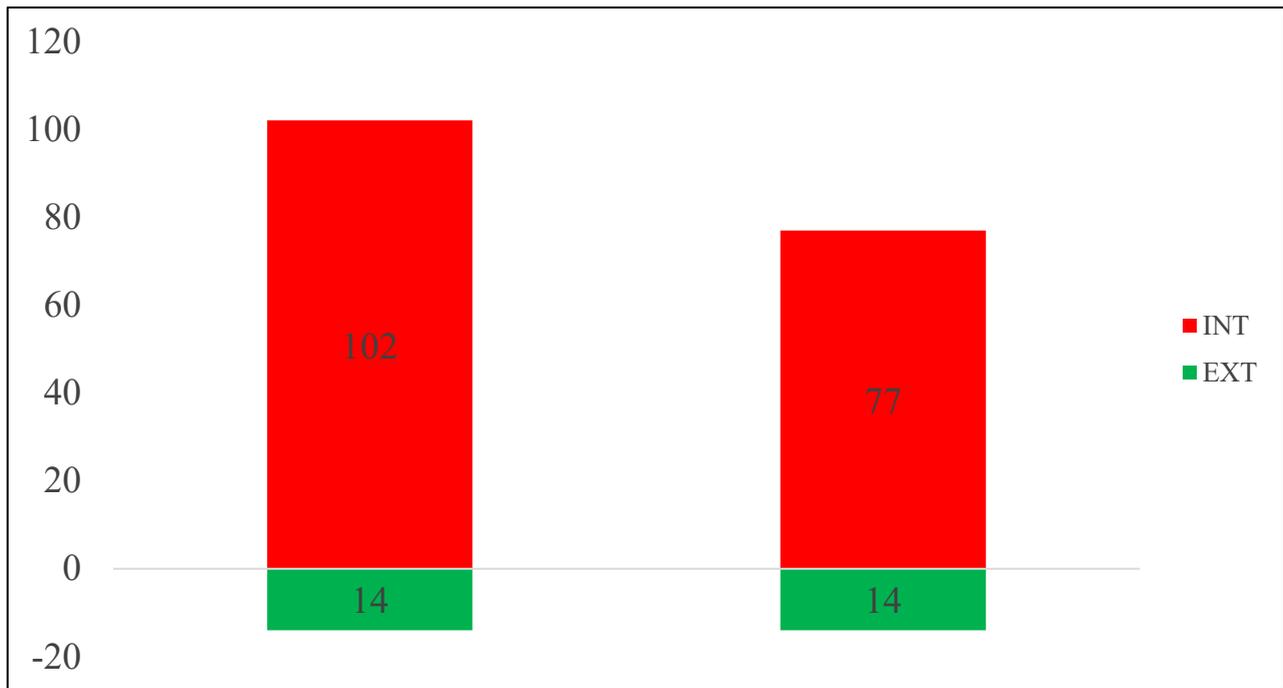


Figura 89: variazione tempo dopo attività 7

4.7.3 CHECK

4.7.3.1 VERIFICHE E APPROVAZIONE

Dopo l'applicazione di tutte le soluzioni relativi alle attività soggette a miglioramenti, l'andamento del tempo di cambio di tutte le operazioni viene rappresentato in figura 91.

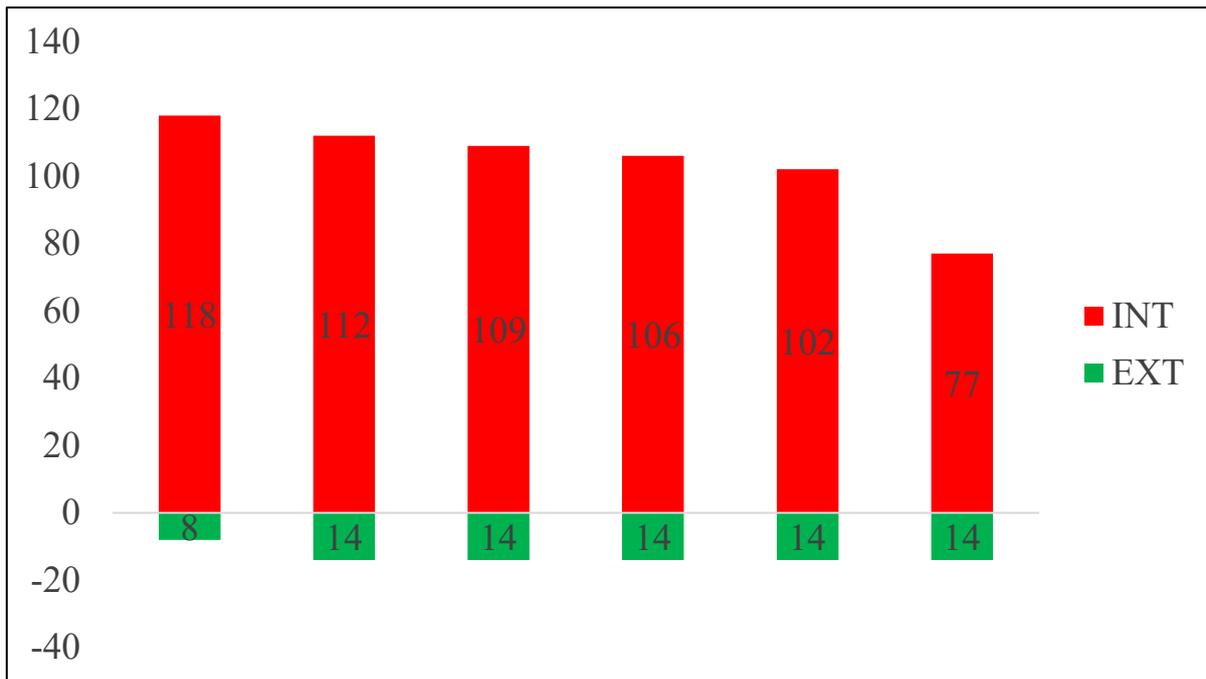


Figura 90: sintesi risultati

Con l'applicazione della metodologia SMED, è stato ottenuto un abbassamento del tempo di setup di 34,7% rispetto a quello di partenza. Il risultato è in linea con l'obiettivo assegnato dal management per una riduzione del tempo di set-up del 30%, obiettivo fissato sia sulla base di un'analisi delle matrici del Cost Deployment in particolare Matrice C), sia sulla base di un'analisi dei processi e l'esigenza di rendere più flessibile la produzione.

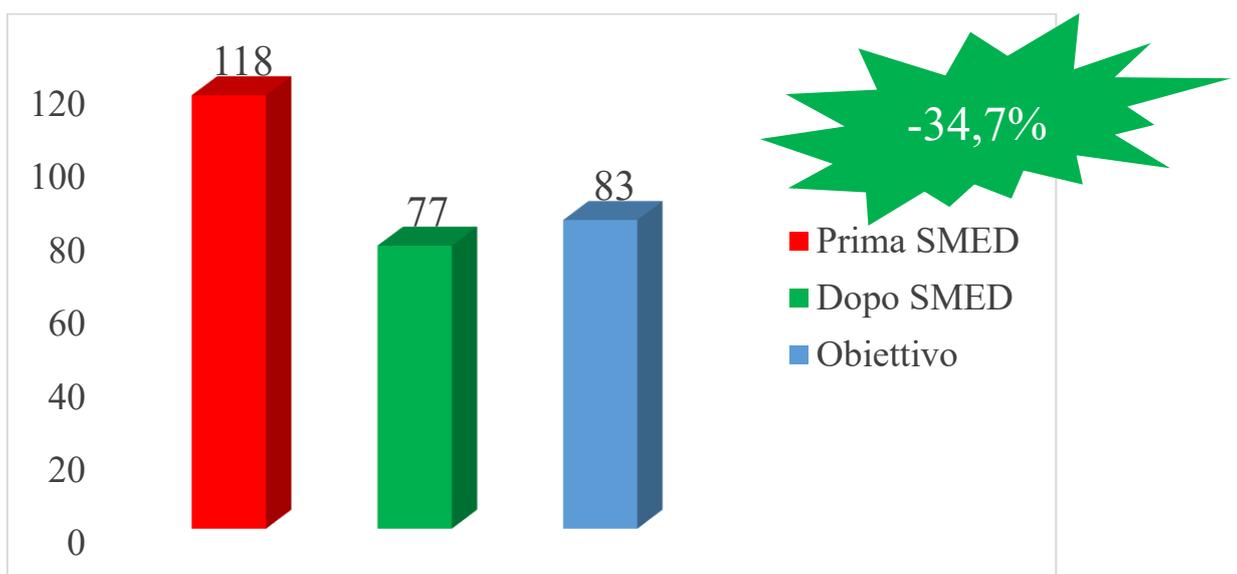


Figura 91: Tempo medio cambio tipo prima e dopo applicazione SMED

Tutte le attività svolte nello studio richiedono di fare un'analisi dei benefici e costi con lo scopo di capire quanto più o meno è efficiente la metodologia SMED. Per i sette rapporti prodotti in stabilimento, sono state prodotte cinque maschere per il motivo che tra questi rapporti, ci sono quattro (due a due) che hanno quasi lo stesso diametro esterno. Quindi avendo a disposizione il costo unitario di una scatola differenziale completa dopo l'operazione di rettifica e il tempo ciclo, l'importo della mano d'opera e del materiale utilizzati per fare le maschere, è stato ricavato il valore del B/C sul giorno. Questo viene fatto avendo preso una media di 2 cambi tipo per giorno.

Tempo risparmiato/gg (min.)	Tempo ciclo (min.)	N. pezzi/gg	Costo/pz (€)	Benefici/gg (€)	Costo (€)	B/C
41	0,7	118	26	3045	1000	3,045

Tabella 11: Riepilogo B/C

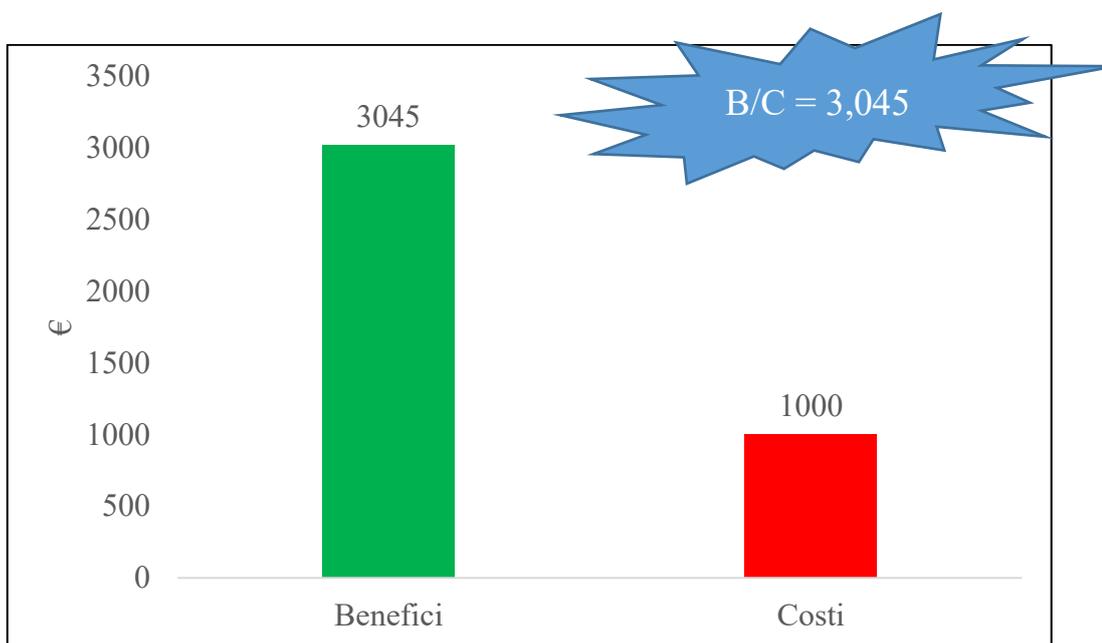


Figura 92: rapporto B/C progetto SMED

4.7.4 ACT

4.7.4.1 STANDARDIZZAZIONE

Con un rapporto B/C > 1, le soluzioni relative alla maschera e al cambio pezzo master sono state adottate anche per gli altri rapporti di trasmissione. Per quanto riguarda il processo di setup, è stato messo a disposizione di tutti i conduttori macchina una Standard Operating Procedure (SOP) che fa vedere passo dopo passo la sequenza di tutte le operazioni (con i tempi) da eseguire durante un cambio tipo sull'operazione di rettifica.

Nella SOP rappresentata nella tabella 11 si può notare che l'attività di rilavorazione e controllo qualità (riga 7 della SOP) è comunque presente con tempo invariato, anche se va sottolineato che la percentuale di accadimento di tale attività, grazie alla soluzione implementata, è ora nettamente più bassa con un conseguente impatto positivo su tutto il processo.

Attività	Descrizione	Tempo (min)	IED/OED
0	Svuotamento della linea	8	OED
1	Preparazione utensili	3	OED
2	Montaggio mola in macchina	8	IED
3	Bilanciamento mola	2	IED
4	Montaggio rullo in macchina	5	IED
5	Posizionamento assi per profilatura	6	IED
6	Prima profilatura	9	IED
7	Seconda profilatura	3	IED
8	Terza profilatura	3	IED
9	Fasatura con sonda	3	IED
10	Centratura primo mandrino	6	IED
11	Centratura secondo mandrino	6	IED
12	Preparazione calibro elettronico e caricamento pezzo master	3	OED
13	Controllo quota "M"	1	IED
14	Lavare, asciugare e portare il primo pezzo in SAI	4	IED
15	Controllo ZEISS	7	IED
16	Verifica SAI	14	IED
17	Se ko, correzioni e controllo qualità	25	IED
Totale senza correzioni		77	
Totale con correzioni		102	

Tabella 12: Standard Operating Procedure

CONCLUSIONE

Come indicato nel capitolo introduttivo, il lavoro di questa tesi svolta presso FCA (stabilimento di Mirafiori Powertrain e WCM Academy) ha avuto come obiettivo principale la riduzione del tempo di cambio tipo durante la lavorazione di rettifica sulle corone cilindriche con l'aiuto di uno strumento della WCM che è lo SMED.

Durante l'analisi, si è evidenziato che l'attività che incidere maggiormente durante il setup era la rilavorazione del primo particolare per non conformità delle caratteristiche richieste. I difetti rilevati sul pezzo erano dovuti alla presenza di solchi su pezzi master utilizzati per azzerare il calibro di misura di una grandezza detta "quota M". Seguendo la metodologia, è analizzato il problema, identificata la causa radice e attivato un progetto di miglioramento per eliminare la causa radice. Il progetto di miglioramento Kaizen, ha riguardato la progettazione di una maschera per facilitare la misura della suddetta quota e monitorare eventuale presenza di solchi sui pezzi master. La soluzione individuata ha contribuito ad irrobustire il processo di controllo conformità. Oltre a questo miglioramento principale, ce ne sono stati altri che hanno portato dei risultati positivi. Lo svolgimento di tale progetto permette di capire che la somma di tanti piccoli miglioramenti porta a un grande risultato.

Tutte le soluzioni adottate sono utili non solo per il tempo guadagnato, ma anche in termini di B/C che viene maggiore di uno come richiesto dalla World Class Manufacturing.

Le parti più difficili del lavoro che sono la raccolta dei dati e la progettazione della maschera da montare sui pezzi master sono stati ben condotti con l'aiuto dei conduttori macchina e del personale presente in SAI.

Tutte le soluzioni trovate sono state approvate in accordo con l'ufficio Qualità, l'ufficio Metrologico e l'ufficio Hnow How Engineering.

Il miglioramento continuo che è lo scopo della WCM deve sempre sussistere in questa attività di cambio tipo fino a che il tempo della attività eseguite a macchina ferma non sia inferiore a dieci minuti come suggerito dalla metodologia SMED.

BIBLIOGRAFIA

Yamashina H., WCM Safety Standard Book

Yamashina H., WCM Cost Deployment Standard Book

Yamashina H., WCM Focused Improvement Standard Book

Yamashina H., WCM Autonomous Maintenance Standard Book

Yamashina H., WCM Workplace Organization Standard Book

Yamashina H., WCM Professional Maintenance Standard Book

Yamashina H., WCM Quality Control Standard Book

Yamashina H., WCM Logistics & Customer Service Standard Book

Yamashina H., WCM Early Equipment Management Standard Book

Yamashina H., WCM Early Product Management Standard Book

Yamashina H., WCM People Development Standard Book

Yamashina H., WCM Environment Standard Book

Yamashina H., WCM Energy Standard Book

Yamashina H., WCM Managerial Pillars Standard Book

Rank Taylor Hobson., Parametri della Finitura Superficiale.

Ringraziamenti

A conclusione del percorso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica ci tengo a ringraziare tutti coloro che mi hanno sostenuto durante questi anni.

Il primo ringraziamento va al Politecnico di Torino ed al corpo docenti grazie al quale ho potuto coltivare la mia passione per le materie trattate dal corso di laurea.

Un particolare ringraziamento va al Professore Luca Iuliano per avermi seguito come relatore durante il lavoro di tesi finale.

Proseguo ringraziando la società FCA Italy S.p.A. per avermi dato la possibilità di svolgere il tirocinio curricolare durante il quale ho realizzato il progetto di tesi.

In particolare ci tengo a ringraziare la Dottoressa Valentina Ferrari, mia tutor aziendale, per l'opportunità concessami di partecipare al progetto di sviluppo della WCM Academy di Torino e soprattutto per la grande disponibilità dimostrata e per il percorso che mi ha fatto seguire durante questi mesi di tirocinio.

Un doveroso ringraziamento va anche rivolto Walter Rapegno, Maurizio Agnese per le conoscenze a me trasmesse in azienda per affrontare meglio il lavoro di tesi.

Un particolare ringraziamento a Marco Mina, per il supporto datomi in sala analisi ingranaggi al fine di maturare le mie conoscenze nell'ambito dei pezzi dentati.

Ringrazio anche tutte le persone dello stabilimento FCA di Mirafiori e WCM Academy, con cui ho lavorato e che mi hanno dato una mano nello svolgimento della mia tesi.

Un grande ringraziamento a tutta la mia famiglia per il sostegno ricevuto durante questo percorso di studio, in particolare a mio zio Tasse Kengne Armel Edmond, per la fiducia riposta in me e l'opportunità di proseguire i miei studi universitari in Italia.

A Sara Crivellaro e Luigi Santisse, due persone per le quali non trovo le parole giuste per ringraziare.

Ringrazio in generale tutti coloro che hanno creduto in me, tutti coloro che mi hanno spronato a dare il massimo e tutti coloro che mi hanno aiutato durante questo percorso, grazie per averlo reso ricco di soddisfazioni.