

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica (LM-33)



Tesi di Laurea Magistrale

Creazione di un sistema di manutenzione dei calibri di delibera finali linee ingranaggi secondo le linee guida del WCM in FCA

Relatore

Prof.ssa Francesca Maria Curà

Candidato

Luigi Cuffaro

Relatori esterni

Ing. Matteo D'Antino

Paolo Rognone

Anno accademico 2019-2020

INDICE

Introduzione	1
1. WORLD CLASS MANUFACTURING	2
1.1 Caratteristiche generali del WCM.....	2
1.2 I pilastri del WCM	4
1.3 I pilastri tecnici.....	5
1.3.1 Safety (SAF)	5
1.3.2 Cost Deployment (CD)	7
1.3.3 Focus Improvement (FI)	8
1.3.4 Autonomous Activities (AM/WO)	10
1.3.5 Professional Maintenance (PM).....	12
1.3.6 Quality Control (QC)	14
1.3.7 Logistics / Customer Service (LOG)	15
1.3.8 Early Equipment/Production Management – Early (EEM/EPM)	17
1.3.9 People Development (PD)	18
1.3.10 Environment (ENV).....	19
1.4 Pilastri Manageriali	21
1.4.1 Management Commitment	21
1.4.2 Clarity of Objectives	21
1.4.3 Roadmap to WCM	22
1.4.4 Allocation of Highly Qualified People	22
1.4.5 Commitment of Organization	23
1.4.6 Competence of Organization	23
1.4.7 Time and Budget.....	23
1.4.8 Level of Detail	24
1.4.9 Level of Expansion	24
1.4.10 Motivation of Operators.....	24
2. QUALITY CONTROL PILLAR	25
2.1 Obiettivi e organizzazione.....	25
2.2 I costi della qualità	27
2.3 QA Matrix	28
2.4 Analisi delle 4M.....	32

2.5	Problem Solving.....	33
2.5.1	Problemi legati al Method.....	35
2.5.2	Problemi legati al Man.....	36
2.5.3	Problemi legati al Material	39
3.	MIRAFIORI POWERTRAIN PLANT	41
3.1	Stabilimento	41
3.1.1	Machining	43
3.1.2	Heat Treatment	43
3.1.3	Assembling	43
3.2	Cambio C-514	44
4.	MANUTENZIONE	49
4.1	Introduzione alla manutenzione	49
4.2	Tipologie di manutenzione.....	50
4.3	L'ingegneria di manutenzione.....	54
4.4	La teoria della manutenzione	55
5.	INGRANOMETRO AUTOMATICO	61
5.1	Modalità di rilevazione difetti	61
6.	ATTIVITÀ DI MANUTENZIONE	64
	Step 1: Studio delle condizioni attuali	65
	Step 2: Verifica degli standard operativi.....	69
	Step 3 – 4: Analisi, Riduzione, Rimozione di tutte le cause di perdita cronica	75
	Step 5: Individuazione delle condizioni idonee per “zero difetti”	75
	Step 6: Mantenimento delle condizioni idonee per “zero difetti”	77
	Step 7: Miglioramento dei metodi di mantenimento delle condizioni per zero difetti	81
	Conclusioni	90
	Bibliografia	92
	Ringraziamenti.....	94

Introduzione

Il seguente elaborato di tesi è stato realizzato durante le attività di stage svolte presso lo stabilimento Powertrain di Mirafiori Meccanica FCA.

Il sistema di gestione dell'azienda si basa sul modello del WCM (World Class Manufacturing).

Il modello WCM fu teorizzato dal professore giapponese H. Yamashina verso la metà degli anni 2000 e giunse in Italia nel 2005, quando Fiat Group (oggi FCA) lo sposò come approccio standard alla gestione della produzione. Infatti, adottare le metodologie fornite dal WCM, significa pensare ad un nuovo processo produttivo aziendale che punta al miglioramento continuo abbattendo gli sprechi e cercando di garantire efficienza, qualità, ricerca e innovazione.

Nell'ambito di tale scenario, è stato realizzato il seguente elaborato di tesi, il cui obiettivo è quello di creare un sistema di manutenzione autonoma e professionale dei calibri finali linee ingranaggi.

Il primo capitolo sarà incentrato sull'analisi della metodologia del World Class Manufacturing e dei suoi obiettivi. In particolare, saranno descritti i principi base su cui si fonda e saranno analizzati brevemente i pilastri tecnici.

Il secondo capitolo sarà dedicato all'approfondimento del pilastro *Quality Control* e in particolare saranno descritti i tools utilizzati nell'attività di tirocinio.

Nel terzo capitolo sarà presentato lo stabilimento presso il quale è stato realizzato il seguente elaborato. Verrà fatta anche una breve descrizione funzionale del cambio C-514, realizzato nello stabilimento.

Nel quarto capitolo saranno analizzate le linee guida della manutenzione, fondamentali per il progetto in esame.

Nel quinto capitolo viene descritto l'ingranometro, ovvero la macchina automatica oggetto della manutenzione autonoma e professionale.

Nel sesto capitolo verranno espone le attività di creazione del sistema di manutenzione per l'ingranometro dal punto di vista qualitativo e quindi secondo le linee guida della *Quality Maintenance*, facendo anche riferimento ai 7 step di *Autonomous Maintenance* e ai 7 step di *Quality Maintenance*.

1. WORLD CLASS MANUFACTURING

1.1 Caratteristiche generali del WCM

Con l'acronimo WCM si indica il sistema World Class Manufacturing, ossia un insieme di metodologie e strumenti volti a migliorare continuamente tutte le performance produttive e a garantire la qualità del prodotto.

Il WCM è una metodologia di produzione che gode di una struttura rigorosa ed integrata che coinvolge l'intera organizzazione e comprende tutte le fasi della produzione e della distribuzione.

Essa si basa sui concetti del Total Quality Management (TQM), una filosofia imprenditoriale nata negli anni '80 e ispirata ai principi di Armand Feigenbaum, esperto americano di Quality Control e uomo d'affari.

Tale filosofia ha lo scopo di ottenere un successo a lungo termine attraverso la piena soddisfazione del cliente finale.

La metodologia del WCM è fondata e ispirata alle quattro aree del TQM finalizzate al target "zero", ossia ad un sistema di produzione mirato ad una riduzione delle perdite e degli sprechi fino ad arrivare al risultato ultimo di zero rifiuti, zero difetti, zero guasti e zero giacenze, come indicato in figura 1.1.

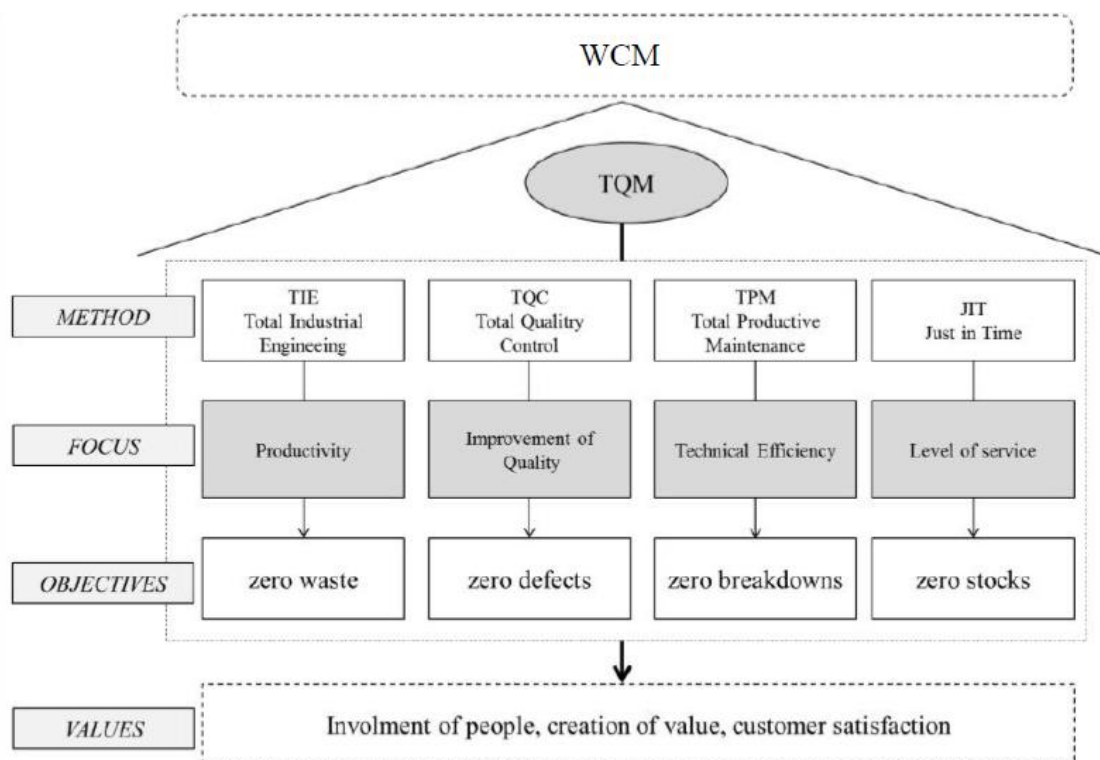


Figura 1.1 – Struttura del WCM

- Total Industrial Engineering (TIE): metodologie di sistema grazie alle quali si massimizzano le performance della manodopera. Esistono tre campi su cui poter intervenire:

- Eliminazione Muda (sprechi di risorse), attaccando le attività che non danno nessun valore aggiunto;
 - Eliminazione Mura (movimenti non conformi), standardizzando le operazioni manuali;
 - Eliminazione Muri (operazioni innaturali).
- TQC, Total Quality Control: strategia di gestione che punta al successo a lungo termine mediante la soddisfazione del cliente finale. Pertanto, esso si basa nel controllo del prodotto durante l'intero ciclo di produzione cercando di raggiungere la condizione di zero difetti.
 - TPM, Total Productive Maintenance: strategia di manutenzione autonoma, preventiva e migliorativa, finalizzata sia nel garantire l'efficienza degli impianti, puntando sull'affidabilità dei processi e all'eliminazione dei loro fermi, che a migliorare la produttività mediante il coinvolgimento attivo di tutto il personale.
 - JIT, Just In Time: politica di gestione delle scorte che si basa su una produzione in quantità e tempi richiesti dal cliente con il fine di eliminare gli sprechi e ridurre le scorte. In tale ottica, si passa da una logica di tipo push ad una logica di tipo pull. L'obiettivo è quello di creare un reale sincronismo tra la vera necessità di materiali all'interno del sistema produttivo e la loro acquisizione e disponibilità sulla linea.

I risultati delle varie aree sottoposte al WCM devono essere sottoposti ad un processo di convalidazione che serve sia a verificare oggettivamente i risultati raggiunti che a mettere in competizione le varie iniziative ed innescare nuovi miglioramenti. Tale processo di convalidazione è il cosiddetto *Sistema di Audit* che è strutturato per obiettivi il cui raggiungimento è misurato da opportuni indicatori di performance (KPI).

Tale sistema permette di valutare, guidare e supportare l'applicazione del World Class Manufacturing. In particolare, verifica l'avanzamento dei risultati e si propongono eventuali correzioni da applicare ai metodi ed agli strumenti. Tali verifiche vengono realizzate con cadenza semestrale o annuale al fine di monitorare l'attività di ciascun pilastro e attestarne il livello di applicazione e l'efficacia del WCM.

Gli audit attribuiscono al pilastro in esame un punteggio che va da zero a cinque, secondo il livello d'implementazione della metodologia.

Il punteggio complessivo, ottenuto sommando i punteggi attribuiti ai singoli pilastri, genera il *Methodology Implementation Index* (MII), il cui range varia da zero a un massimo di cento.

Il MII permette di classificare i Plant secondo quattro livelli:

- Bronze Medal;
- Silver Medal;
- Gold Medal;
- World Class.

1.2 I pilastri del WCM

Il WCM presenta una struttura organizzativa basata su dei pilastri, ciascuno dei quali presenta un approccio di sette step che a loro volta sono suddivisi in tre fasi:

1. Fase reattiva: una volta che il problema si è manifestato, si adottano le contromisure;
2. Fase preventiva: sulla base dell'esperienza accumulata, si adottano appropriate contromisure per evitare che un problema già conosciuto si ripeta;
3. Fase proattiva: sulla base di un'analisi dei rischi, si adottano appropriate contromisure per evitare che uno specifico problema si manifesti.

Lo sviluppo del metodo prevede l'applicazione di una logica incrementale in cui ad ogni step il miglioramento deve essere consolidato e standardizzato prima di procedere allo step di implementazione successiva.

In particolare, i primi step si concentrano nel creare le condizioni base per poter controllare i processi produttivi, gli altri step si focalizzano sul miglioramento e sull'ottimizzazione dei processi stessi. [1]

Per comprendere lo scopo e il ruolo di tali pilastri all'interno della struttura complessiva, spesso si paragona il WCM a un tempio, come mostrato in figura 1.2. I pilastri tecnici rappresentano le colonne della struttura del WCM, i quali per poter svolgere in maniera valida le loro funzioni devono necessariamente basarsi sui pilastri manageriali, che rappresentano appunto le fondamenta della struttura del WCM. [1]

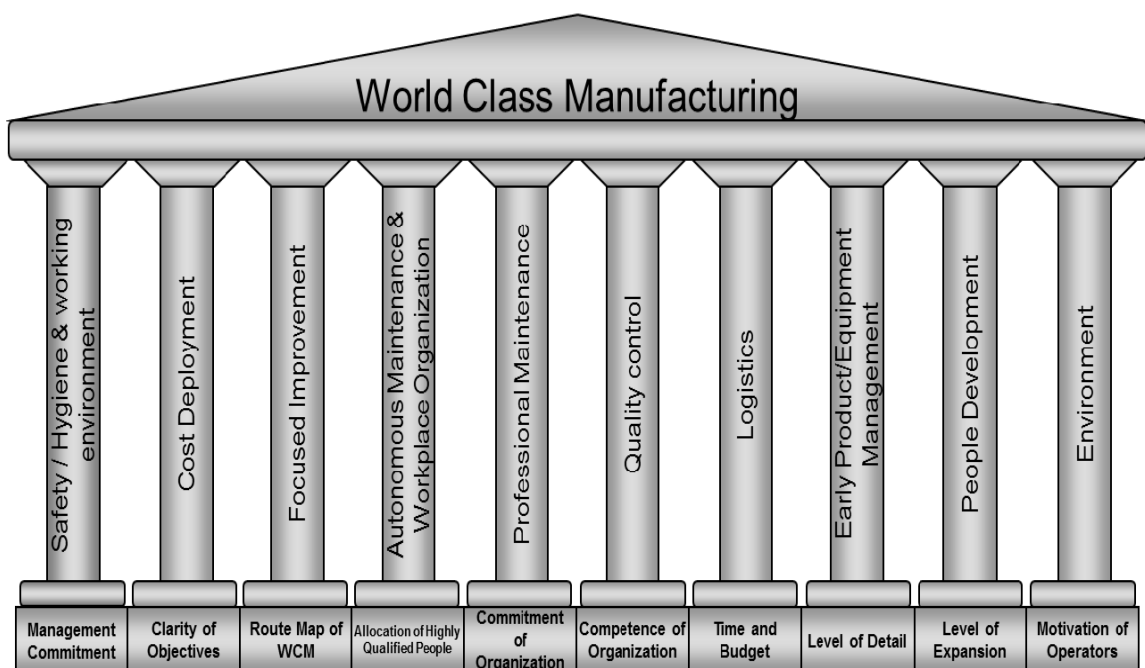


Figura 1.2 – I pilastri del WCM

Quindi, i pilastri della struttura del WCM si suddividono in due diverse linee di azioni:

- La prima linea è fondata su dieci pilastri tecnici, il cui scopo è quello di fornire le metodologie e gli standard per poter trovare soluzione ai vari problemi;
- La seconda linea si basa su dieci pilastri manageriali, i cui obiettivi sono di far agire comportamenti di impegno e di responsabilità e di far applicare tecniche e metodi di gestione di piani e strategie.

Nei prossimi paragrafi saranno descritti brevemente obiettivi e attività svolte da ciascun pilastro indicando i sette step previsti per la risoluzione dei problemi.

1.3 I pilastri tecnici

Le attività di miglioramento vengono svolte attraverso dieci pilastri tecnici, avendo come presupposto:

- La sicurezza prima di tutto;
- Il Cost Deployment come guida economica;
- Il Focused Improvement come “cassetta degli attrezzi”;
- Il Quality Control come riferimento per la soddisfazione del cliente.

Nei prossimi paragrafi saranno descritti brevemente obiettivi e attività svolte da ciascun pilastro indicando i sette step previsti per la risoluzione dei problemi.

1.3.1 *Safety (SAF)*

Il *Safety (SAF)* è il pilastro tecnico della Sicurezza.

Nulla è più importante della salute e della sicurezza dei lavoratori, per cui il Safety rappresenta il primo pilastro del tempio del WCM.

Tale pilastro propone il miglioramento continuo dell’ambiente di lavoro e la progressiva eliminazione/riduzione di tutti i rischi residui correlabili sia alle condizioni di lavoro che ai comportamenti dei lavoratori, fornendo un ragionevole livello di protezione contro il verificarsi di incidenti.

Gli obiettivi del pilastro Safety sono:

- Eliminare o ridurre drasticamente il rischio di infortuni, medicazioni e malattie professionali;
- Sviluppare una cultura aziendale in materia di prevenzione della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Individuare comportamenti non sicuri e correggerli con l’aiuto diretto degli operatori interessati;
- Realizzare postazioni di lavoro e attrezzature intrinsecamente sicure già in fase progettuale;

- Migliorare costantemente l'ergonomia del posto di lavoro, riprogettando le postazioni di lavoro anche attraverso il feedback dei lavoratori;
- Sviluppare competenze professionali specifiche in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro,
- Predisporre informazioni nell'ambiente di lavoro, istruzioni di controllo, accesso e primo intervento che influenzino o modifichino in modo positivo e preventivo, il comportamento dei lavoratori esposti ai rischi residui.

Il raggiungimento degli obiettivi prefissati lo si ottiene avvalendosi di un continuo monitoraggio di indicatori di performance chiamati KPI (*Key Performance Indicators*) e di indicatori di attività KAI (*Key Activity Indicators*). Entrambi gli indicatori sono importanti in quanto forniscono l'immediata situazione sia della quantità/qualità delle attività svolte (KAI) che della loro reale efficacia per l'ottenimento degli obiettivi prefissati (KPI).

Le attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi sono:

- Audit interni periodici sulla sicurezza degli impianti;
- Identificazione e valutazione dei rischi;
- Analisi sistematica degli incidenti avvenuti;
- Miglioramenti tecnici sulle macchine e sul posto di lavoro;
- Formazione, addestramento e controllo.

I risultati attesi sono:

- Miglioramento dell'ambiente di lavoro;
- Eliminazione delle condizioni per potenziali incidenti e infortuni.

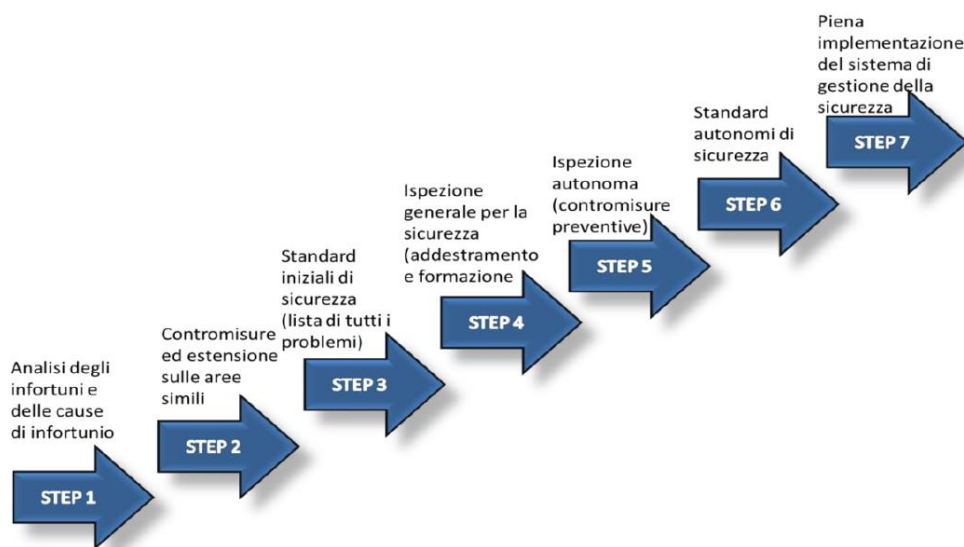


Figura 1.3 – I sette step del pilastro SAF

1.3.2 Cost Deployment (CD)

Il *Cost Deployment (CD)* è il pilastro tecnico relativo all'Analisi dei costi e mira ad individuare in maniera scientifica e sistematica le principali voci di perdita presenti nel sistema produttivo/logistico di stabilimento, a quantificare i benefici economici potenziali e attesi ed infine ad indirizzare le risorse e l'impiego manageriale verso le attività con le maggiori potenzialità. [1]

Per ottimizzare la performance aziendale, in termini di efficienza ed efficacia, è necessario che le risorse acquisite ed utilizzate, per la produzione dei beni o servizi, siano utilizzate in modo efficace e produttivo, senza alcun tipo di spreco o perdita.

Con il termine *perdita* intendiamo la differenza fra l'output atteso e l'output effettivamente ottenuto, a parità di quantità di risorse in input. [1]

Intendiamo invece con il termine *spreco* un sovra-utilizzo di risorse e di fattori di produzione (input) per ottenere un determinato livello atteso di produzione – output.

L'*efficacia* è una 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. [1]

L'*efficienza* è invece 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. [1]

Essendo una metodologia che stabilisce un percorso strutturato e sistematico orientato alla caccia ed eliminazione di perdite e sprechi, il *Cost Deployment* rappresenta la “bussola” che fornisce a tutti gli altri pilastri tecnici indicazioni su quali perdite e sprechi e su quali aree del processo è necessario intervenire con attività di miglioramento.

L'obiettivo principale del *Cost Deployment*, con il supporto di tutti gli altri pilastri, è quello di ridurre tendenzialmente a zero sprechi e perdite nel processo produttivo attraverso:

- Individuazione in maniera scientifica e sistematica delle principali voci di perdita e spreco presenti nel sistema produttivo dello stabilimento;
- Quantificazione dei benefici economici potenziali e attesi;
- Focalizzazione delle risorse e dell'impegno manageriale verso le attività con le maggiori potenzialità.

Per il raggiungimento degli obiettivi suddetti, le attività svolte sono:

- Mappatura dei costi e dell'utilizzo dei fattori produttivi per ciascuna area, reparto, fase di processo o macchinario.
- Analisi delle perdite e sprechi in ciascuna fase di processo. Conoscenza delle relazioni fra cause ed effetti delle perdite (perdite Causali/Risultanti) e come una perdita in una certa fase del processo produttivo influenzi altre parti ad esso collegate.
- Raccolta e analisi, per ogni fase di processo e per ogni causa, dei dati e dei parametri necessari per valutare le perdite e sprechi in termini economici.

- Definizione della priorità di intervento e assegnazione di obiettivi ai vari *Pillars WCM*, ossia orienta e indirizza in modo coordinato e integrato, le attività di tutti gli altri pilastri.
- Implementazione e follow-up delle attività di miglioramento. In questa fase si monitorano i progetti che sono stati lanciati, sulla base di criteri di costo e beneficio, e si verifica l'effettivo recupero di efficienza e la creazione di *savings* sul costo del Plant.

I risultati attesi sono:

- Conoscenza oggettiva delle cause di perdita prioritarie;
- Crescita delle competenze manageriali;
- Sviluppo delle capacità di pianificare le competenze necessarie per l'applicazione delle metodologie scelte.

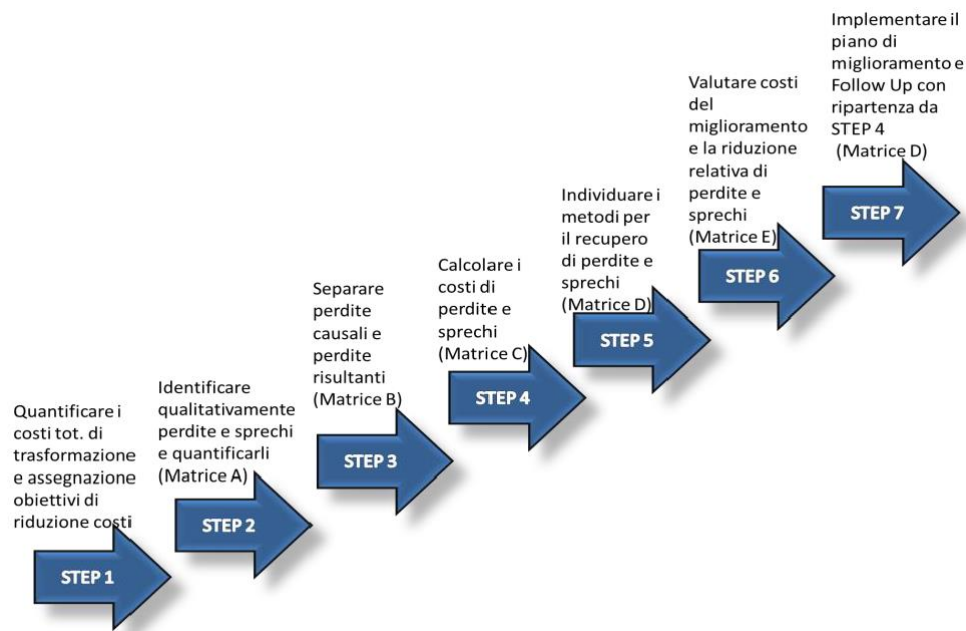


Figura 1.4 – I sette step del pilastro CD

Le matrici sono strutture dati che formalizzano i passaggi logici di ciascuno step.

1.3.3 Focus Improvement (FI)

Il *Focus Improvement (FI)* è il pilastro tecnico relativo al miglioramento focalizzato, volto ad eliminare le principali voci di perdita precedentemente individuate tramite il *Cost Deployment*, evitando di indirizzare impegno e risorse verso problematiche non prioritarie. [1]

È un approccio focalizzato alla soluzione di tematiche specifiche e univocamente identificabili che si propone di ottenere un risultato a breve termine, con un beneficio elevato in termine di riduzione dei costi dovuti alle perdite e agli sprechi. Applica tecniche, strumenti e metodi specifici relativi alla complessità dei problemi affrontati.

Per quanto riguarda la logica dell'implementazione, il pilastro *Focused Improvement* segue la logica PDCA (*Plan Do Check Act*) della “Ruota di Deming”: affronta i problemi, non individuando una contromisura temporanea contro i sintomi ma, al contrario, instaurando un circolo virtuoso che attacca le cause radice eliminandole, ripristinando il set di parametri o individuandone di nuovi tali da impedire che lo stesso problema si presenti ancora in futuro. [1]

Gli obiettivi del Focus Improvement sono:

- Ridurre drasticamente le perdite più importanti presenti nel sistema produttivo di stabilimento eliminando le inefficienze dei processi;
- Eliminare le attività a non valore aggiunto allo scopo di aumentare la competitività del costo del prodotto;
- Sviluppare le competenze professionali specifiche di *Problem Solving*.

Le attività svolte da tale pilastro sono:

- Definizione delle attività da affrontare, degli obiettivi e delle risorse per la conduzione dei progetti;
- Addestramento dei gruppi di monitoraggio e dell'andamento dei progetti;
- Realizzazione dei progetti;
- Garanzia del supporto specialistico necessario ai gruppi;
- Certificazione e consuntivazione dei risultati.

Applicando i concetti del *Focus Improvement* si ottiene una riduzione rilevante dei costi attraverso:

- Miglioramento dell'efficienza degli impianti (OEE);
- Riduzione dei tempi di set up;
- Riduzione degli sprechi;
- Crescita professionale e acquisizione del metodo.

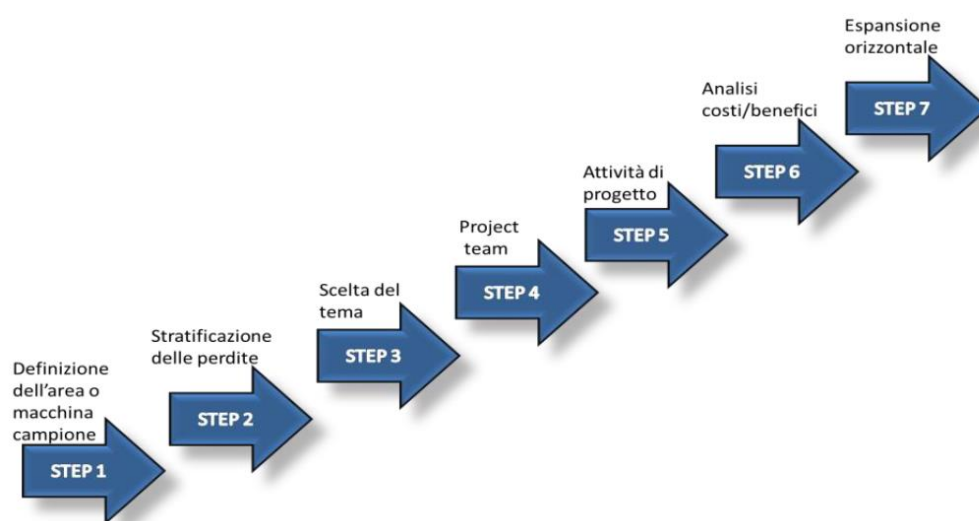


Figura 1.5 – I sette step del pilastro FI

1.3.4 Autonomous Activities (AM/WO)

L'*Autonomous Activities/Workplace Organization (AM/WO)* è il pilastro tecnico della Manutenzione Autonoma e dell'Organizzazione della postazione di Lavoro. Il pilastro è composto da due sotto pilastri, che interagiscono tra loro, consentendo di eliminare le condizioni di degrado delle macchine e riportarle nelle condizioni di base ed il mantenimento di tali condizioni. [1]

L'utilizzo e implementazione di tale pilastro è volta a portare benefici, inizialmente, aumentando l'OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) tramite l'eliminazione dei guasti per mancanza condizioni di base e, successivamente, riducendo le perdite produttive dovute a microfermi, scarti, rallentamenti, errori umani e problemi legati alla metodologia di lavoro, grazie anche ad una crescita del *know how* degli operatori relativa alla conoscenza approfondita del processo e del metodo WCM. [1]

Il concetto base della Manutenzione è che, generalmente, il guasto di una macchina non è casuale e improvviso, ma è correlato ad una serie di sintomi rilevabili quando le macchine sono in degrado. Per prevenire a tali circostanze, è necessario istruire gli operatori macchina ad applicare metodologie e tools necessari affinché ci sia un cambio di tendenza e quindi il ripristino delle condizioni di base.

In merito alla metodologia di implementazione, tale pilastro prevede un percorso basato su sette step sistemici, suddivisi in tre fasi:

- **FASE REATTIVA (step 0-3)**: si ristabiliscono le condizioni di base dell'impianto attraverso la pulizia e l'eliminazione del degrado. [1]
- **FASE PREVENTIVA (step 4-5)**: l'obiettivo si sposta sulla crescita degli operatori, si stabilisce un piano di formazione con il supporto della manutenzione professionale che permetterà agli operatori di implementare il loro *know how* ed allargare il perimetro delle loro responsabilità. [1]
- **FASE PROATTIVA (step 6-7)**: gli operatori saranno ulteriormente sviluppati in modo tale da poter gestire in completa autonomia tutti i fattori (prodotto/processo) che influenzano il corretto funzionamento della linea di produzione. [1]

I sotto pilastri sono Autonomous Maintenance (AM) e Workplace Organization.

Autonomous Maintenance (AM)

L'obiettivo di AM è quello di migliorare l'efficienza globale del sistema produttivo attraverso:

- Il fermo del deterioramento accelerato, il ripristino e il mantenimento delle condizioni di base
- Il coinvolgimento delle persone
- Lo sviluppo delle competenze sul prodotto e sull'impianto
- La collaborazione tra conduttori e manutentori.

Le principali attività del pilastro sono:

- Creazione di team di addestramento e preparazione dell'attività;
- Pulizia iniziale
- Eliminazione delle sorgenti di sporco e delle aree di difficile accesso;
- Definizione e applicazione di cicli efficaci e sostenibili di pulizia, ispezione, lubrificazione e serraggio;
- Miglioramento delle modalità di ispezione attraverso lo sviluppo delle competenze degli addetti
- Focalizzare le attività degli addetti anche verso il controllo della qualità del prodotto

I risultati attesi sono:

- Incremento della vita utile degli impianti;
- Miglioramento dell'efficienza degli impianti (OEE).

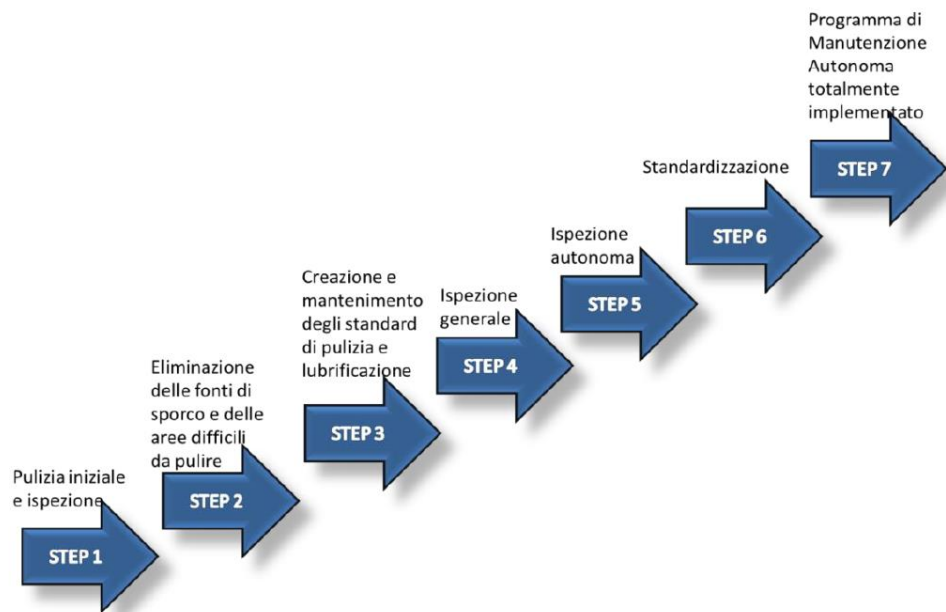


Figura 1.6 – I sette step del pilastro AM

Workplace Organization (WO)

L'obiettivo di WO è quello di migliorare l'efficienza e la produttività del sistema produttivo attraverso:

- Il ripristino e il mantenimento delle condizioni di base
- L'eliminazione di attività a non valore aggiunto
- Il coinvolgimento delle persone
- Lo sviluppo delle competenze sul prodotto e sull'impianto

Le principali attività del pilastro sono:

- Creazione di team di addestramento e preparazione dell'attività;

- Eliminazione di quanto non necessario, riordino e pulizia;
- Definizione e applicazione dei cicli di mantenimento;
- Analisi ed eliminazione di attività a non valore aggiunto;
- Miglioramento dei cicli di lavoro e della qualità del prodotto attraverso lo sviluppo delle competenze degli addetti.

I risultati attesi sono:

- Eliminazione di perdite di manodopera e materiali;
- Incremento della qualità del prodotto;
- Miglioramento della produttività e dei costi di processo;
- Ergonomia e sicurezza del lavoro.

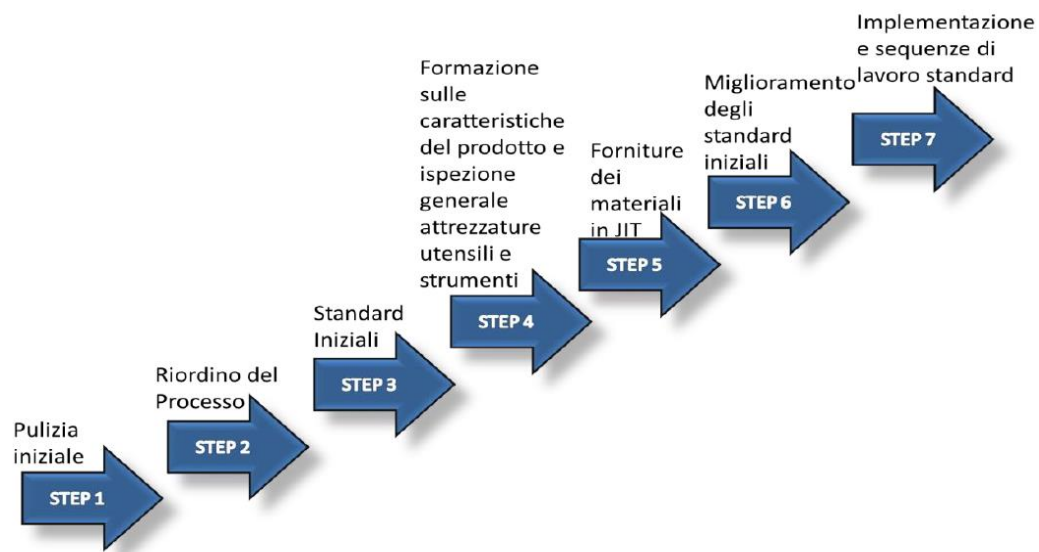


Figura 1.7 – I sette step del pilastro WO

1.3.5 Professional Maintenance (PM)

Il *Professional Maintenance (PM)* è il pilastro tecnico della Manutenzione Professionale, il quale racchiude tutte le attività finalizzate alla costruzione di un sistema di manutenzione. Grazie al principio della massima economicità, esso è capace di aumentare l'efficienza dell'impianto produttivo minimizzando le fermate per guasto garantendo, a impianti e macchine, di funzionare alle condizioni stabilite assicurando la conservazione del patrimonio aziendale per tutta la sua vita utile. [1]

L'approccio abbraccia tutte le tipologie di manutenzione, sia quelle pianificate che non pianificate.

A tal proposito si distinguono due tipi di manutenzione:

- La *manutenzione non pianificata* o *manutenzione a guasto* (BDM) è eseguita in seguito ad un'avaria ed è volta a riportare un'entità nello stato in cui essa possa

eseguire la funzione richiesta; consiste nell'intervenire solo quando la macchina/impianto si è guastata.

- La *manutenzione preventiva pianificata* è la manutenzione eseguita ad intervalli predeterminati (TBM) o in accordo a criteri prescritti (CBM) ed è volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità (AM). Essa interviene prima che la macchina/impianto si guasti. [1]

Se la strategia di manutenzione presenta solo interventi reattivi a guasto, i costi di manutenzione potrebbero essere relativamente bassi ma le perdite saranno sicuramente elevate.

Se si introduce la manutenzione preventiva, i costi di manutenzione aumentano ma riducono le perdite dovute a guasto.

È evidente come la giusta strategia risulta essere un giusto mix tra le suddette tecniche manutentive con il fine di minimizzare costi e perdite garantendo un'elevata affidabilità.

Pertanto, gli obiettivi di tale pilastro sono:

- Aumentare l'efficienza delle macchine attraverso le accresciute competenze dei manutentori e l'uso delle tecniche di analisi di guasto;
- Facilitare la collaborazione tra conduttori per raggiungere gli obiettivi della manutenzione autonoma.

Le principali attività del pilastro sono:

- Calcolare il tempo medio tra Guasti (MTBF – *Mean Time Between Failure*)
- Controllo e analisi dei Guasti tramite EWO (*Emergency Work Order*), documento nel quale si registra l'avvenuto fermo macchina e quale è stata la reazione reattiva al problema;
- Aumento delle competenze dei manutentori;
- Definizione di piani economicamente sostenibili di manutenzione pianificata;

I risultati attesi sono:

- Riduzione dei guasti macchina;
- Riduzione significative di difetti, scarti e rilavorazioni
- Incremento dell'OEE;
- Incremento della percentuale di manutenzione pianificata;
- Definizione di un piano di manutenzione preventiva;
- Motivazione e crescita professionale dei manutentori;
- Maggiore collaborazione tra manutentori e conduttori.

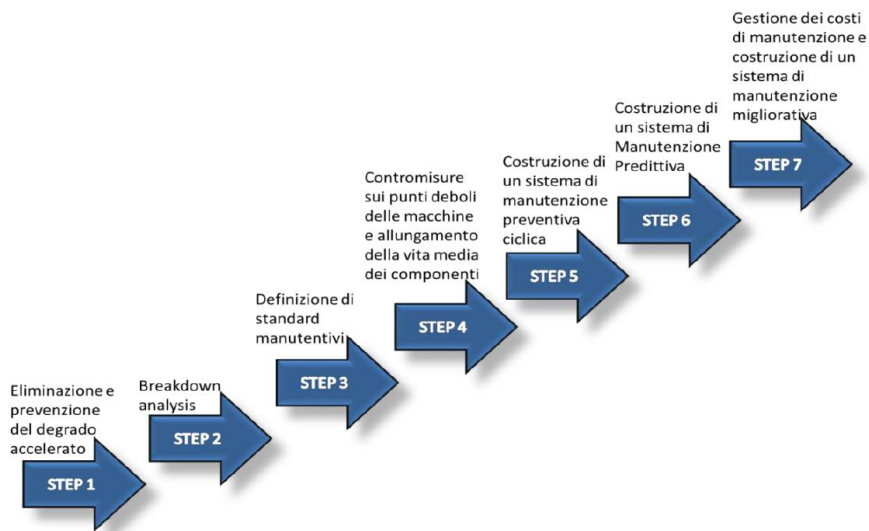


Figura 1.8 – I sette step del pilastro PM

1.3.6 Quality Control (QC)

Il *Quality Control (QC)* è il pilastro tecnico del Controllo Qualità. Nasce dalla necessità di garantire il soddisfacimento dei clienti ed infatti si pone due priorità fondamentali [1]:

- Conformità in termini di sicurezza e standard qualitativi e superamento delle aspettative in termini di qualità del cliente.
- Raggiungere la priorità di cui sopra e, successivamente, conseguire l'obiettivo di ottenere costi aggiunti per la qualità più bassi possibile.

Il problema principale che sta a monte di tale pilastro è che a volte, i clienti si ritrovano ad avere prodotti difettosi e non adeguati alle proprie esigenze.

Pertanto, i principali obiettivi del *Quality Control* sono:

- Assicurare prodotti di qualità per i clienti minimizzando i costi;
- Definire le condizioni dei sistemi produttivi tali da impedire la comparsa di non conformità;
- Mantenere le condizioni definite per garantire la conformità nel tempo;
- Accrescere le competenze degli addetti sulla soluzione di problemi.

Le principali attività del pilastro sono:

- Analizzare le origini delle non conformità attraverso la *QA Matrix*;
- Definire le condizioni operative che assicurino la qualità desiderata e la *process capability* attraverso la *QM Matrix*;
- Creazione, addestramento e gestione dei team di miglioramento;
- Compilazione e definizione dei *Q point* e dei cicli di prevenzione e mantenimento;
- Definizione delle *Standard Operating Procedure*.

La bussola del pilastro è rappresentata dalla *QA Matrix*, strumento utilizzato per raccogliere e classificare tutti i problemi qualitativi che si generano in una certa area.

I risultati attesi sono:

- Crescita della soddisfazione del cliente;
- Riduzione significativa di difetti, scarti e rilavorazioni;
- Diffusione delle competenze di problem solving
- aumento delle performance di miglioramento della qualità del prodotto e del processo.

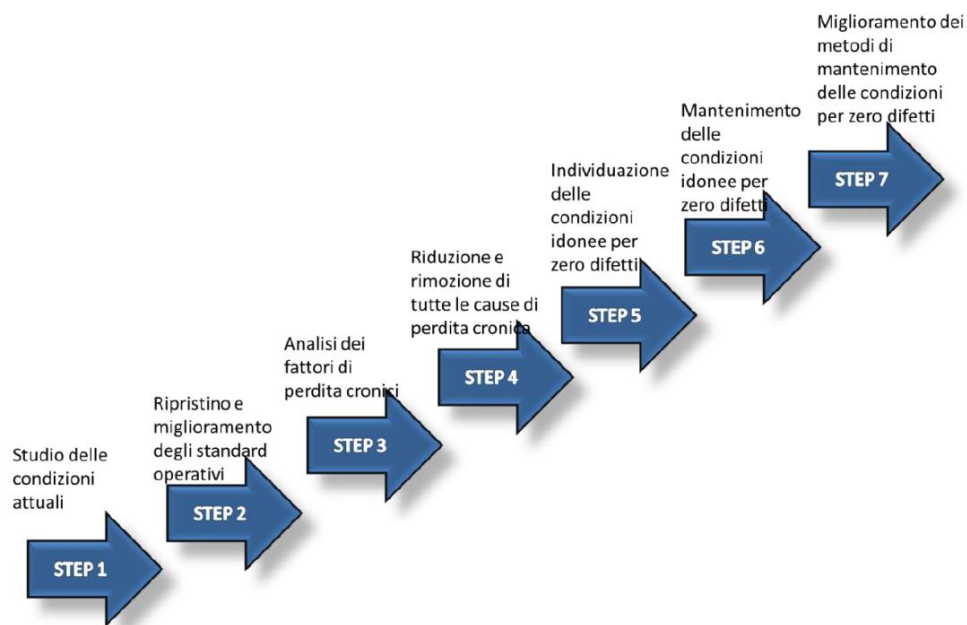


Figura 1.9 – I sette step del pilastro QC

1.3.7 Logistics / Customer Service (LOG)

Il *Logistic/Customer Service (LOG)* è il pilastro tecnico relativo alla Logistica e Servizio al cliente che si occupa di organizzare al meglio il flusso di materiale con lo scopo di eliminare perdite ed inefficienze e migliorare il livello di servizio al cliente.

Il perimetro coperto è molto ampio, estendendosi a monte verso i fornitori (*logistica in bound* o di *approvvigionamento*) e a valle dello stabilimento produttivo fino alla consegna del prodotto finito al cliente (*logistica outbound* o *commerciale*). Pertanto, è necessario come la logistica debba necessariamente integrarsi con le altre funzioni aziendali sia a livello strategico e di impostazione dei nuovi modelli, sia a livello operativo.

Tale pilastro fa riferimento ai concetti di *Just In Time (JIT)* e *Just In Sequence (JIS)* o produzione a *Kanban*. Secondo questi concetti, le scorte di materiale in stabilimento producono molti oneri finanziari, inoltre ad esse è collegato il rischio di danneggiamento e invecchiamento dei prodotti.

Pertanto, gli obiettivi di tale pilastro sono:

- Creare le condizioni di flusso teso all'interno dello stabilimento e con i fornitori;
- Ridurre in maniera rilevante i livelli di stock;
- Livellare i volumi e il mix produttivo, aumentare le saturazioni delle linee;
- Minimizzare la movimentazione interna.

Le principali attività del pilastro sono:

- Analisi dei flussi per individuare le perdite e le opportunità;
- Diffusione delle principali metodologie di gestione materiali (JIT, KANBAN, FIFO...);
- Miglioramento dei sistemi di programmazione interna ed esterna, dei layout e dei contenitori;

I risultati attesi sono:

- Evasione degli ordini tempestiva;
- Riduzione stock;
- Riduzione danneggiamenti e obsolescenza materiali;
- Aumento competenze logistiche di stabilimento.

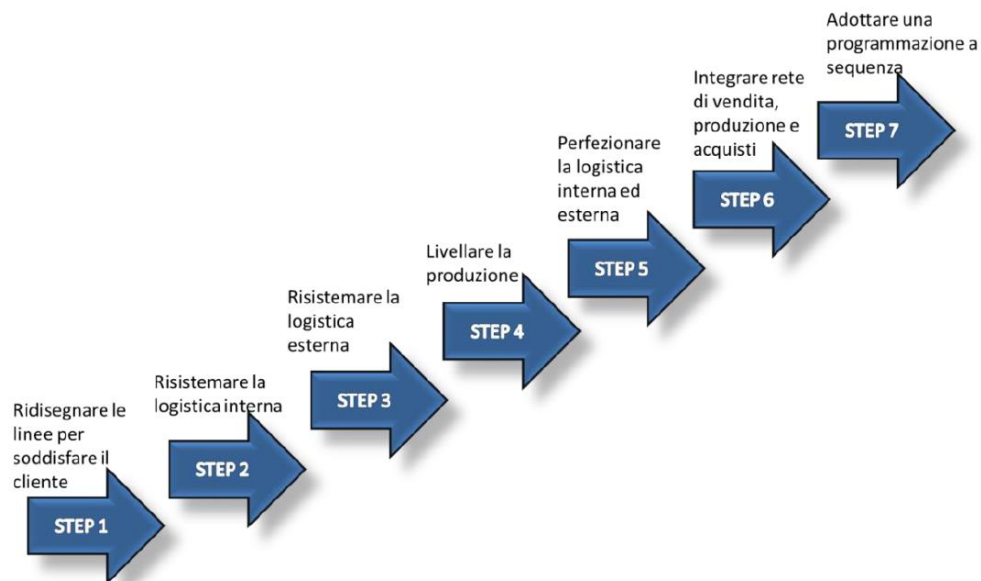


Figura 1.10 – I sette step del pilastro LOG

1.3.8 *Early Equipment/Production Management – Early (EEM/EPM)*

Il *Early Equipment/Production Management – Early (EEM/EPM)* è il pilastro tecnico formato a sua volta da due sotto pilastri:

- *EEM (Gestione anticipata degli impianti)* mira a mettere in funzione i nuovi impianti nei tempi definiti, a garantire uno start-up rapido e stabile, a ridurre il Costo del Ciclo di Vita (*LCC – Life Cycle Cost*).
- *EPM (Gestione anticipata del prodotto)* mira ad assicurare la qualità desiderata di design e produzione, a minimizzare i costi o massimizzare i profitti e a ridurre i tempi di sviluppo del prodotto.

Gli obiettivi di tale pilastro sono:

- Progettare impianti sicuri e semplici con minimo costo di ciclo di vita, elevati standard qualitativi, massima flessibilità e ottima operabilità e manutenibilità;
- Consentire avviamenti verticali tramite *Front Loading* efficace;
- Minimizzare i tempi di sviluppo o *Lead Time*;
- Consentire il *Concurrent Engineering*, ovvero la cooperazione nello sviluppo delle funzioni di Manufacturing Engineering, Fornitori, Produzione e Manutenzione.

Si definisce *avviamento verticale* il raggiungimento della produzione a regime tramite una salita produttiva senza guasti o altre anomalie, ne derivate di qualità rispetto al livello atteso.

Affinché si minimizzi il *Lead Time* e si raggiunga l'avviamento verticale, è fondamentale evitare i problemi durante le fasi di installazione, verifica ed avviamento. Pertanto, si ricorre all'attività di *Front Loading* che prevede di:

- Registrare tutti i problemi riscontrati e la loro soluzione, in modo da costruire un database di *Early Equipment Management* contenenti tutte le soluzioni dei problemi riscontrati nei precedenti progetti;
- Ricorrere all'EEM nei progetti attuali per prevenire problemi che comporterebbero ritardi ed incrementi di costo. Infatti, si realizzano delle sessioni periodiche chiamate *Design Review* dove vengono applicate delle *check list* per la verifica di tutti i requisiti che prevengono i problemi che si potrebbero verificare nelle fasi di avviamento.

I risultati attesi sono:

- Costi di vita degli impianti contenuti;
- Impianti affidabili, ispezionabili, puliti, a bassa rumorosità;
- Cicli di manutenzione preventiva definiti in fase di progettazione;
- Settaggio e avvio rapidi;
- Qualità elevate del prodotto.

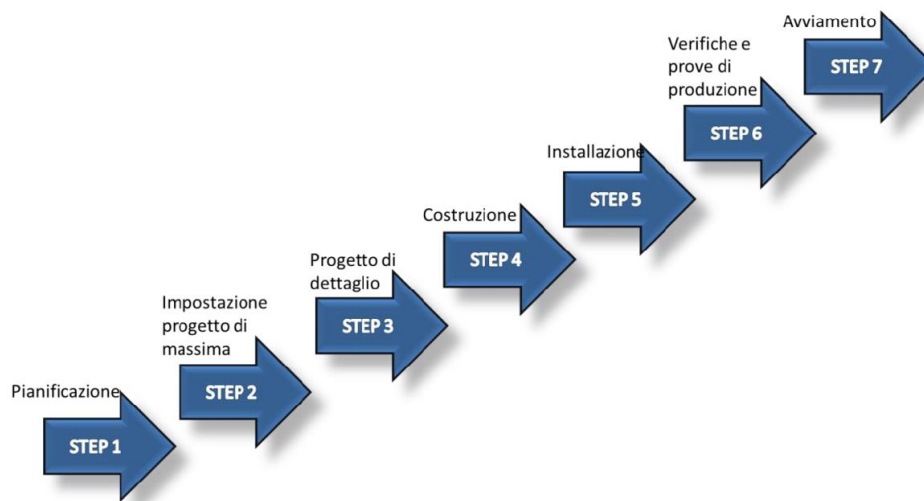


Figura 1.11 – I sette step del pilastro EEM/EPM

1.3.9 People Development (PD)

Il *People Development (PD)* è il pilastro tecnico relativo allo sviluppo delle competenze. Le competenze e le modalità di lavoro sono spesso inadeguate ad una operatività priva di rischi di errori [1].

È proprio per sostenere in modo mirato le competenze necessarie per lo sviluppo delle altre metodologie e dei progetti di miglioramento che nasce il pilastro in oggetto il quale si pone i seguenti obiettivi:

- assicurare, attraverso un sistema strutturato di addestramento, le corrette competenze e abilità per ciascuna postazione di lavoro;
- sviluppare i ruoli di manutentori, tecnologi, specialisti come principali agenti di addestramento;
- documentare in modo semplice ed efficace le conoscenze e le capacità operative possedute e sviluppate da diffondere e mantenere.

Le principali attività riguardano:

- mappatura delle conoscenze necessarie e possedute (*Radar Chart*);
- analisi dei gap e definizione dei piani di addestramento;
- sviluppo degli strumenti e delle capacità di addestramento;
- allestimento del *Training Center* con materiali e attrezzatura necessaria.

I risultati attesi sono:

- miglioramento della qualità dell'intero stabilimento;
- riduzione del rischio d'infortuni dovuto a mancanza di conoscenza dell'uso di attrezzature di lavoro;
- applicazione del QC per un buon controllo del processo da parte degli addetti per il miglioramento della qualità;
- buone competenze per il miglioramento dell'efficienza degli impianti (OEE);

- buone competenze dei conduttori per l'applicazione degli standard di pulizia, ispezione e lubrificazione previste dalla Manutenzione Autonoma (AM);
- eliminazione di qualsiasi tipologia di errore umano mediante la realizzazione e la diffusione di modalità di lavoro a prova di errore (*Poka Yoke*);
- Miglioramento del clima e della motivazione del personale.

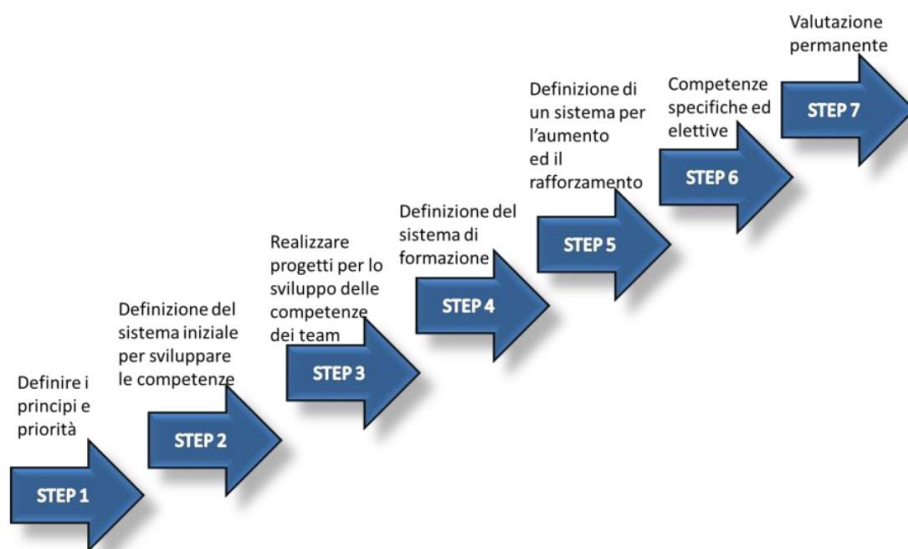


Figura 1.12 – I sette step del pilastro PD

1.3.10 Environment (ENV)

Il pilastro *Environment/Energy (ENV/NRG)* è il pilastro tecnico relativo all'ambiente. Nasce dall'esigenza di soddisfare la società civile, rispettando le normative di gestione ambientale, svilupparne la cultura della prevenzione e migliorare, continuamente, le condizioni dell'ambiente di lavoro, anche andando al di là degli obblighi derivanti da norme e leggi.

Gli obiettivi del pilastro ENV sono:

- Zero rifiuti;
- Zero emissioni;
- Zero rifiuti in discarica;
- Creazione di un green stabilimento;
- Riduzione del rischio ambientale legato ai processi;
- Riduzione del carico ambientale legato ai processi.

Le principali attività del pilastro sono:

- Audit interni periodici sull'impatto della fabbrica verso l'ambiente circostante;
- Identificazione e prevenzione dei rischi;
- Applicazione delle normative ISO;
- Miglioramenti tecnici sugli impianti e sulle macchine;
- Formazione, addestramento e controllo.

I Risultati attesi sono:

- Riduzione dei consumi energetici;
- Riduzione della generazione di sostanze inquinanti e di rumore;
- Aumento delle quote di riciclo;
- Miglioramento dell'ambiente di lavoro;
- Eliminazione delle condizioni per potenziali incidenti ambientali.

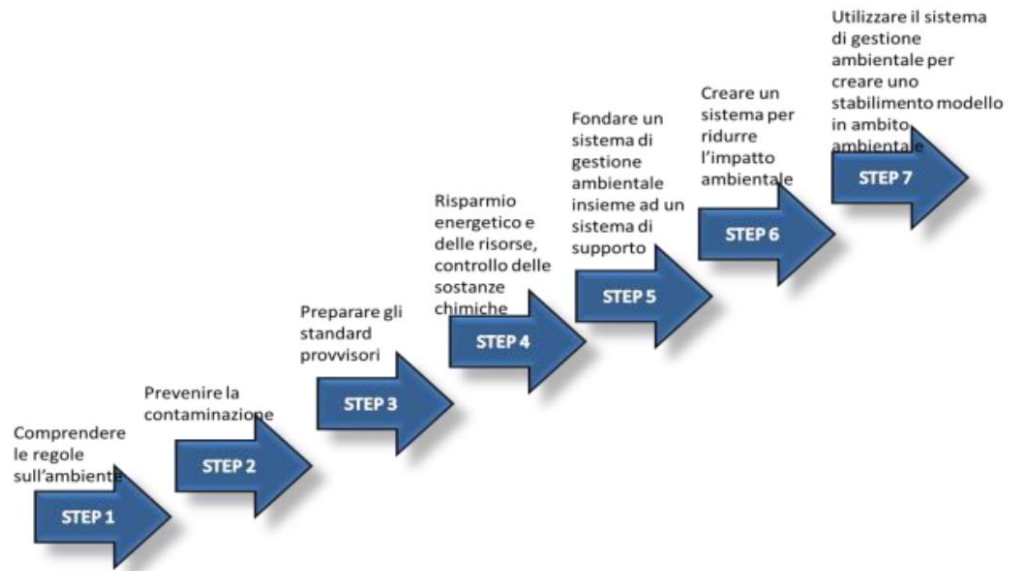


Figura 1.13 – I sette step del pilastro ENV

1.4 Pilastri Manageriali

I dieci pilastri manageriali rappresentano le fondamenta della struttura del WCM, il cui obiettivo è quello di garantire l'efficace implementazione dell'intera metodologia.

Mediante la gestione di tali pilastri, il WCM garantisce l'impegno da parte del management e l'allineamento tra i processi gestionali e la metodologia di miglioramento. Il percorso di implementazione evidenzia come il miglioramento radicale delle operazioni sia basato, oltre che a cambiamenti di tipo tecnico, anche su una leadership forte ed una chiara visione del percorso di cambiamento.

Il punto chiave del risultato del WCM è rappresentato dall'interazione di tre componenti: *Tools*, *Leadership* e *Road Map*, ciascuna delle quali svolge un ruolo importante e indispensabile.



Figura 1.14 – I pilastri manageriali [1]

1.4.1 Management Commitment

Il *Management Commitment* è il pilastro manageriale che garantisce il necessario supporto da parte del Management Team al programma World Class.

I manager e i team di tale pilastro hanno il compito di organizzare i meccanismi di funzionamento del programma quali il sistema di riunioni, l'avanzamento e gli audit interni.

Gli obiettivi di tale pilastro sono legati a:

- Allineamento dell'organizzazione ai principi del World Class. Tale allineamento è stato misurato in questi anni sia attraverso KAI organizzativi sia con alcuni KPI organizzativi.
- Profilo di competenze, rappresentato attraverso *radar chart*.
- Profilo di leadership, gestito attraverso il processo aziendale delle PLM.

1.4.2 Clarity of Objectives

Il *Clarity of Objectives* è il secondo pilastro manageriale e consiste nella definizione da parte dello stabilimento di obiettivi chiari e coerenti con gli obiettivi aziendali.

Il sistema degli obiettivi deve essere la guida per gli altri pilastri. Inoltre, deve garantire dati accurati e tempestivi.

Un aspetto fondamentale del pilastro riguarda il deployment degli obiettivi su tutti quanti i livelli all'interno dell'organizzazione, in modo tale che ogni ruolo possa contribuire al raggiungimento degli obiettivi aziendali.

Gli obiettivi di tale pilastro sono legati a:

- Perdite attaccate a *saving* ottenuto
- Andamento dei KPI inseriti all'interno della *Scorecard*
- Rapporto *Benefici / Costi (B/C)*
- Efficacia del sistema di comunicazione.

1.4.3 Roadmap to WCM

Il *Roadmap to WCM* è il terzo pilastro manageriale che mira a definire la strategia con cui la metodologia del WCM supporta lo stabilimento per il raggiungimento dei propri obiettivi.

Attraverso il processo di pianificazione strategica lo stabilimento deve sviluppare il proprio piano di medio-lungo termine, allineato con gli obiettivi posti dall'azienda. Ruolo di forte importanza lo assumono i cosiddetti *Production Engineers*, ossia gli specialisti in grado di sviluppare progetti nelle diverse aree.

Gli obiettivi di tale pilastro sono legati a:

- *Vision, Needs Objectives e Targets* sviluppate per ciascun pilastro
- Sistema di training in grado azzerare i divari di competenza delle risorse
- Numero di specialisti per ogni pilastro
- Numero di Best Pratiche e standard implementati al fine di raggiungere l'IPS
- Posizionamento dello stabilimento nei benchmark interni/esterni ed eventuali riconoscimenti ottenuti.

1.4.4 Allocation of Highly Qualified People

Il *Allocation of Highly Qualified People* è il quarto pilastro manageriale, il quale garantisce la corretta allocazione delle risorse ad ogni pilastro, in modo da favorire la creazione, lo sviluppo e il necessario deployment della conoscenza a tutti i livelli dell'organizzazione.

Gli obiettivi di tale pilastro sono legati a:

- Profilo di competenze, rappresentato attraverso radar chart.
- Livello di estensione delle aree modello, che misurano i risultati dell'implementazione del WCM in termini di estensione sul plant.
- Sistema delle competenze definito a priorità di training di breve e lungo periodo fissate.
- Documenti prodotti e *best practices* adottate.

1.4.5 *Commitment of Organization*

Il *Commitment of Organization* è il quinto pilastro manageriale, che mira a garantire il pieno supporto da parte di tutta l'organizzazione, con particolare focus sul *Middle Management*, al programma World Class. [1]

Un aspetto fondamentale del pilastro *Commitment of the Organization* riguarda il coinvolgimento attivo del *Middle Management*, il quale deve guidare e supportare in modo efficace la parte bassa della piramide.

Gli obiettivi di tale pilastro sono legati a:

- Propensione al cambiamento a livello di coinvolgimento, misurate mediante il numero di progetti realizzati da ciascuna persona e mediante l'attivo coinvolgimento nelle attività e nei team di pilastro.
- Visione dei problemi e definizione delle priorità, misurate mediante il numero di progetti realizzati e valutando il livello di priorità dei problemi.
- Principio dello zero optimum, misurato mediante il raggiungimento dello zero nei progetti realizzati.

1.4.6 *Competence of Organization*

Il *Competence of Organization* è il sesto pilastro manageriale, che mira ad assicurare che i corretti metodi e strumenti vengano utilizzati per ottenere e incrementare il know how necessario a risolvere i problemi.

Gli obiettivi del pilastro in oggetto sono legati a:

- Insieme di metodi e strumenti conosciuti ed applicati.
- Numero di risorse in grado di utilizzare specifici strumenti.
- Livello di accuratezza del sistema di raccolta dati.
- Sistema di gestione dei processi/progetti

1.4.7 *Time and Budget*

Il *Time and Budget* è il settimo pilastro manageriale, il quale consiste nella definizione di un efficace sistema di controllo delle risorse, con particolare focus su risorse temporali e monetarie.

Gli obiettivi del pilastro in oggetto sono legati a:

- Scostamento dei *saving* rispetto al *forecast* all'interno della Matrice F
- Progetti inseriti all'interno della Matrice G (Budget)
- Risultati apportati da progetti EEM/EPM su tempo e budget
- Riduzione dei tempi di risposta e del lead time.

1.4.8 *Level of Detail*

Il *Level of Detail* è l'ottavo pilastro manageriale, il quale mira a sviluppare la capacità di evidenziare i problemi nascosti ed implementare azioni orientate ad attaccarli, in modo rigoroso e dettagliato. [1]

Al fine di consentire la corretta analisi dei problemi, il primo passo è la *stratificazione* dei dati e delle informazioni. La stratificazione, quindi, ha lo scopo di condurre una dettagliata ricerca della causa radice, che è il prerequisito fondamentale per l'eliminazione dei problemi.

Gli obiettivi del pilastro in oggetto sono legati a:

- Livello di stratificazione dei dati.
- Livello di utilizzo e diffusione di sketch e strumenti visuali.
- Livello di diffusione della VOC (*Voice of Customer*) alle diverse aree di lavoro (es. QA Matrix).

1.4.9 *Level of Expansion*

Il *Level of Expansion* è il nono pilastro manageriale, che garantisce l'espansione delle attività del World Class Manufacturing in tutte le aree dello stabilimento. [1]

Gli obiettivi del penultimo pilastro sono legati a:

- Livello di espansione delle attività (n° di aree attaccate, partendo dalla *Model Area* per poi continuare con le aree AA, A, B e C).
- Livello di profondità (es. pilastri sistematici: raggiungimento degli step avanzati; pilastri focalizzati: complessità degli argomenti trattati).
- Orizzonte temporale analizzato (es. *5 Years Cost Deployment*).
- Attività/progetti realizzati in collaborazione con i fornitori.

1.4.10 *Motivation of Operators*

Il *Motivation of Operators* è il decimo e ultimo pilastro manageriale, che mira a garantire il massimo livello di motivazione, coinvolgimento e partecipazione da parte di operai e Team Leader. [1]

È prevista la presenza di un sistema di *Recognition* e *Rewording* che supporta e favorisce il coinvolgimento e la motivazione.

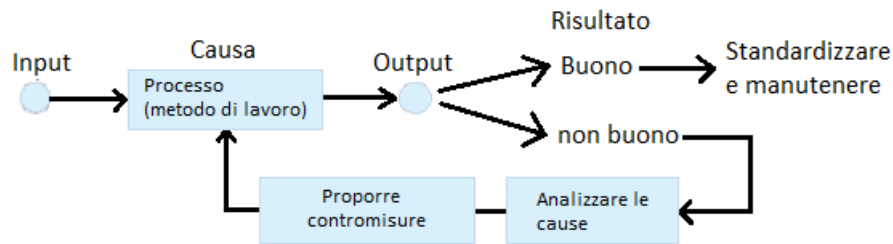
Gli obiettivi dell'ultimo pilastro manageriale sono legati a:

- Livello di coinvolgimento raggiunto dagli operai e dai Team Leader (es. n° di suggerimenti o di *QuickKaizen* per operatore).
- Efficacia del lavoro in team (es. nel corso degli anni sono state sviluppate diverse *Best Practices* per la valutazione dell'efficacia dei team).
- Tasso di assenteismo.

2. QUALITY CONTROL PILLAR

2.1 Obiettivi e organizzazione

Il *Quality Control* è un pilastro tecnico il cui obiettivo principale è quello di ***definire e migliorare le condizioni idonee per zero difetti e generare gli standard operativi per tal fine*** che consentiranno di passare da un approccio reattivo (soluzione del problema) ad uno preventivo (prevenire il problema), garantendo così la stabilità del processo.



Creare buoni risultati migliorando il processo

Figura 2.1 – Controllo del processo

Come mostrato in figura 2.1, il prodotto finale deve essere valutato: se i risultati sono buoni si deve puntare alla standardizzazione e al mantenimento del processo; se i risultati sono non buoni bisogna analizzare le cause radice e implementare le contromisure all'interno del processo per verificarne l'effetto.

Per misurare oggettivamente e qualitativamente le performance della attività condotte, il *Quality Control*, così come tutti gli altri pilastri, utilizza due tipologie di indicatori: KPI (*Key Performance Indicators*) e KAI (*Key Activity Indicators*).

KPI:

- Warranty (C/1000);
- Survey;
- Pulls
- Assy
- Cp/Cpk
- FTQ (*First Time Quality*)

Tabella 2.1 KPI

INDICATORE	UNITA' DI MISURA	DEFINIZIONE	DOVE	EFFETTO/PERDITE
WARRANTY C/1000	‰	Difetti dopo 3-12 mesi di utilizzo del veicolo	Cliente finale	Nel periodo di garanzia viene riparato o sostituito il cambio
SURVEY	TGW (Things Gone Wrong) %	Questionari fatti ai clienti	Cliente finale	Lamentato cliente, utilizzato per confrontarsi alle altre case produttrici
PULLS	ppm	Difetti del cambio riscontrati al collaudo di delibera vettura	Cliente Carrozzeria	Sostituzione del cambio in carrozzeria
ASSY	ppm	Difetti del cambio riscontrati al collaudo di delibera vettura	Cliente Carrozzeria	Riparazione del cambio in carrozzeria
FTQ	%	Cambi buoni subito al controllo finale dello stabilimento meccanico	Stabilimento di meccanica	Scarti interni allo stabilimento

KAI:

- Quick Kaizen
- Standard Kaizen
- Major Kaizen
- Advanced Kaizen (PPA)
- Error Proofing e Poka Yoka
- OPL (*One Point Lesson*) / SOP (*Standard Operating Procedure*)

2.2 I costi della qualità

La qualità influisce su tutti gli aspetti dell'organizzazione e ha conseguenze drammatiche sui costi.

I costi possono essere divisi in due categorie: la prima categoria comprende i costi di prevenzione e i costi di valutazione, necessari per raggiungere l'alta qualità, chiamati *costi di controllo della qualità*; la seconda categoria include i costi delle non conformità rilevate all'interno e quelle rilevate all'esterno, chiamati *costi di fallimento di qualità*.

Quando una caratteristica del prodotto finito si scosta dalle specifiche previste per soddisfare il cliente si ha una *non conformità*.

I *costi di prevenzione* sono tutti i costi sostenuti nel processo di prevenzione della scarsa qualità. Includono i costi di pianificazione della qualità, come i costi di sviluppo e attuazione di un piano di qualità.

Sono inclusi anche i costi di progettazione del prodotto e del processo tenendo conto della formazione dei dipendenti.

I *costi di valutazione* sono sostenuti nel processo di scoperta dei difetti. Includono i costi delle ispezioni di qualità, dei test sui prodotti e degli audit di verifica per garantire il rispetto degli standard di qualità.

In questa categoria rientrano anche i costi del tempo impiegato dal lavoratore per misurare la qualità e il costo delle attrezzature utilizzate a tal fine.

I *costi delle non conformità rilevate all'interno* sono associati alla scoperta di una scarsa qualità del prodotto prima che venga spedito al cliente. Un tipo di costo di guasto interno è la rilavorazione, che è il costo di correzione dell'articolo difettoso. A volte l'articolo è così difettoso che non può essere corretto e deve essere gettato via. Questo è chiamato *rottame* e i suoi costi includono tutto il materiale, il lavoro e i costi della macchina spesi nella produzione del prodotto difettoso.

In questa categoria rientra anche il costo dei tempi di fermo macchina dovuti a guasti nel processo.

I *costi delle non conformità rilevate all'esterno* sono associati a problemi di qualità che si verificano nel sito del cliente. Questi costi possono essere particolarmente dannosi perché la fiducia e la fedeltà dei clienti possono essere difficili da recuperare. Essi includono molteplici fattori: da reclami dei clienti, resi di prodotti, riparazioni, richieste di risarcimento in garanzia, richiami e persino costi di contenzioso derivanti da problemi di responsabilità del prodotto.

Quindi è necessario investire sulla prevenzione e valutazione in modo da abbattere i costi delle non conformità. Facendo un'analisi economica delle non conformità, risulta che se un'anomalia è rilevata sull'operazione/postazione in cui si genera, allora il costo è contenuto. Spostando la rilevazione dell'anomalia in fasi sempre più a valle dell'operazione/postazione in cui si genera, i costi aumentano esponenzialmente.

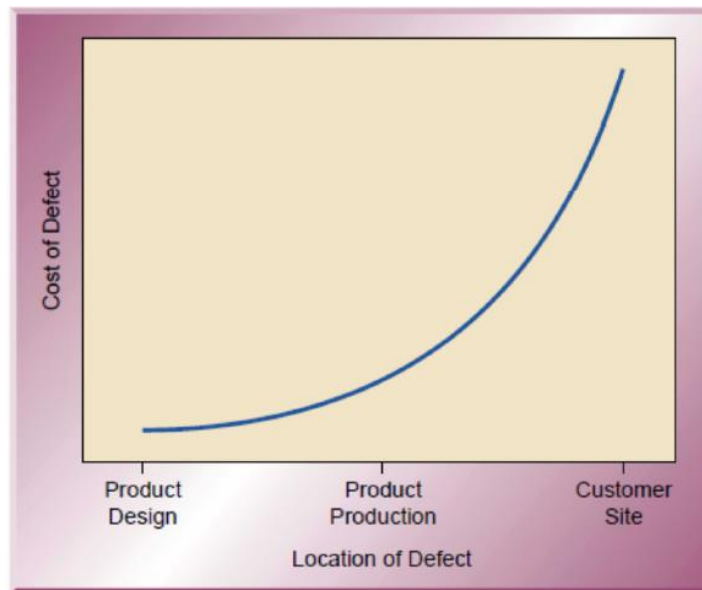


Figura 2.2 – Andamento del costo delle non conformità

2.3 QA Matrix

La QA (Quality Assurance) Matrix è lo strumento driver per il Quality Control che evidenzia le correlazioni tra le Non Conformità, le cause radice che le ha generate e il processo di produzione che le ha generate.

La QA Matrix deve elencare le anomalie specificando, per ognuna di esse (Figura 2.4):

- Frequenza di accadimento
- Costi (MDO e Costo materiali)
- Rilevabilità (crescente dal riscontro in UTE fino al cliente): FTQ, ASSY, PULLS, WARRANTY
- Gravità (problema con impatto sulla Sicurezza, Funzionalità, ecc.)

Questi fattori, opportunamente moltiplicati tra loro, forniscono l'indice di priorità (IP) del problema e del processo a cui l'anomalia stessa è correlata.

- **Gravità (fattore E):** l'indice di classificazione della gravità va attribuito in funzione dell'impatto del problema:
 - **AA** → Problema che provoca fermo vettura o concerne la sicurezza o comporta l'eventuale rifiuto della vettura da parte del cliente, a cui si attribuisce un indice pari a 10;
 - **A** → Problema che limita fortemente il cliente nell'utilizzo della vettura e condiziona l'eventuale riacquisto (es. funzionalità e comfort), a cui si attribuisce un indice pari a 6;
 - **B** → Problema che provoca forte disagio al cliente (es. estetico, assemblaggio, lavorabilità), a cui si attribuisce un indice pari a 3;
 - **C** → Problema non avvertibile dal cliente, a cui si attribuisce un indice pari a 1.

A questo punto occorre:

- Calcolare l'indice di priorità applicando la formula:

$$\begin{aligned}
 IP &= \text{Frequenza} \cdot \text{Costo Mat} \cdot \text{Costo Mdo} \cdot \text{Rilevabilità} \cdot \text{Gravità} = \\
 &= A \cdot B \cdot C \cdot D
 \end{aligned}
 \tag{eq. 2.1}$$

- Analizzare le cause stimando la correlazione (Alta/Media/Bassa) tra problematiche e processi ripartendo l'IP in quote;
- Ordinare le problematiche inserite nella QA Matrix per indice di priorità decrescente;
- Definire la priorità in termini di problematiche e processi critici;
- Definire l'approccio da applicare basandosi sull'analisi delle 4M.

Dunque, la QA Matrix è utilizzata per:

- Dare priorità ai problemi qualitativi
- Comprendere la causa del problema secondo lo strumento delle 4M (Machine, Method, Material, Man), per identificare e pianificare le necessità di sviluppo e formazione
- Identificare le aree del plant nelle quali i difetti di qualità relativi a Machine, Method, Material e Man sono maggiormente concentrati
- Identificare i modi di difetto che stanno causando le maggiori criticità
- Definire le macchine prioritarie da attaccare con l'applicazione della Quality Maintenance.

QA Matrix MIRAFIORI PLANT Cambio C514																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
N°	Classificazione del problema	Origine segnalazione Tipologia di problema R - rumorosità PT - prova tenuta F - funzionale	Problema	UTE N°	Andamento anno 2015										Rilevabilità				Priorità A=(B+O)/D+E (*) = Somma	PROCESSO		Fornitori	Progetto	PROGETTO				Analisi 4M + 1D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
					Totale anno	Frequenza H=1:5	Costo Mat. H=1:5	Costo Mdo H=1:5	FTQ 1	ASSY D (*) 10	PULL 15	Clienti 50	Gravità H=1:5 5	UTE X	UTE Y	Data	Codice	Responsabile		Tipo	Man			Machine	Method	Material	Design																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	AA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								</

Figura 2.4 – Esempio di QA Matrix

La QA Matrix fornisce anche la base per l'analisi di problematiche di responsabilità del fornitore.

Infatti, partendo dalla QA Matrix, è possibile classificare i fornitori critici mediante indice di priorità stabilendo la priorità di intervento e impostando un piano d'azione per attaccare le problematiche.

N.	Problema	Priorità (A+B+O/D+E)	Incidenza Fornitori su priorità	% Incidenza fornitori su priorità	FORNITORI									
					a	b	c	d	e	f	g	h	i	l
5	Perdite olio da fusioni alluminio	960	640	67%						A	M	B	B	B
13	Manovrabilità - difficoltà innesto su tutte le marce	220	117	53%			A	B		249	212	125	8	46
Valutazione del fornitore per indice di priorità					150	100%			A	150				
			58	81%			A							
27	Rumorosità - PTU1/PTU2 e Final Drive (AWD)	4	4	100%			A							
		9.532	969	10%	4	58	94	23	150	249	212	125	8	46
					C	C	C	C	C	B	AA	B	C	C

Fornitore più critico

Figura 2.5 – Esempio QA Matrix Fornitori

2.4 Analisi delle 4M

I problemi qualitativi sono classificati in quattro classi (4M):

- Machine (*Macchina*)
- Method (*Metodo*)
- Man (*Uomo*)
- Material (*Materiale*)

Per affrontare i problemi qualitativi si procede dapprima con l'analisi delle 4M attraverso il diagramma di Ishikawa (Figura 2.6). Il diagramma di Ishikawa, chiamato anche *diagramma causa-effetto* o *diagramma a lisca di pesce* per la sua forma, è una tecnica manageriale utilizzata per individuare la causa radice di un problema.

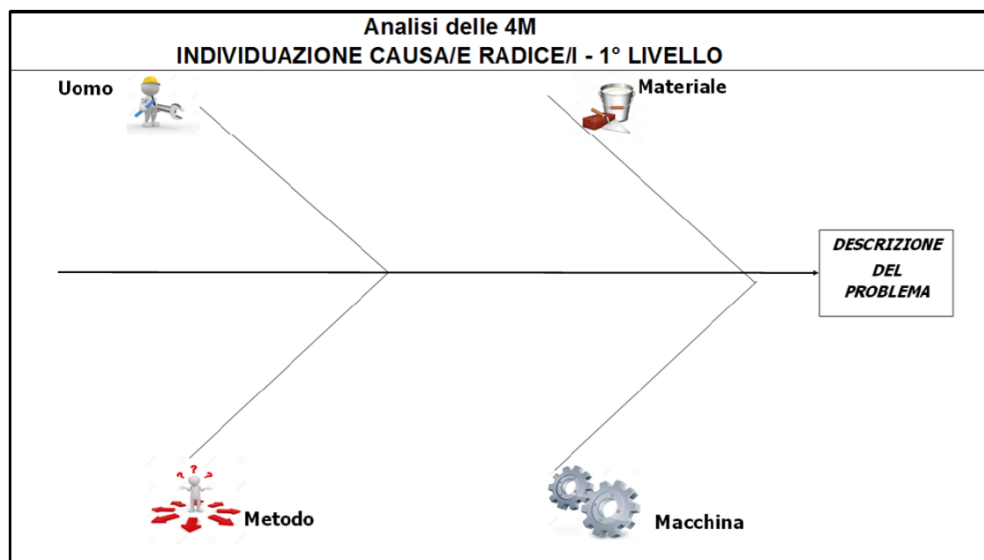


Figura 2.6 – Diagramma di Ishikawa

Una volta verificate tutte le possibili cause del problema, si eliminano quelle che non hanno nessuna correlazione e si affrontano quelle rimanenti.

Una volta identificati i problemi, per ogni possibile categoria delle 4M è possibile utilizzare diversi approcci al fine di risolvere i problemi che si sono presentati:

- *Problem Solving*: approccio a 7 step per risolvere i problemi legati a Method, Man e Material
- *Quality Maintenance*: approccio a 7 step per risolvere i problemi legati al Machine, che verrà approfondito nel capitolo 6 "*Attività di manutenzione*".

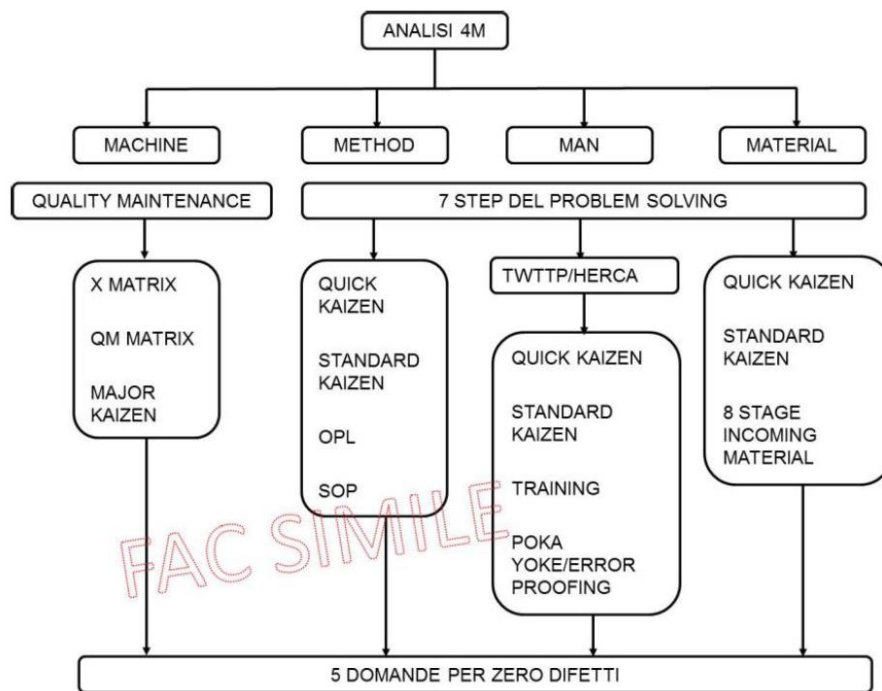


Figura 2.7 – Analisi delle 4M

2.5 Problem Solving

Una volta eseguita l'analisi delle 4M tramite il diagramma di Ishikawa e trovata la correlazione con la M di Method, Man o Material, si procede adoperando i 7 step del *Problem Solving*.

Con il termine *Problem Solving* (*Risoluzione di Problemi*) si indica un'attività intellettuale del pensiero umano, finalizzata al raggiungimento di una condizione desiderata a partire da una condizione iniziale data. [2]

Lo strumento utilizzato dal WCM per la risoluzione dei problemi è il *Kaizen*.

La parola *Kaizen* deriva dalla composizione di due termini giapponesi *Kai* (cambiamento, miglioramento) e *Zen* (buono, migliore) ed è utilizzata per indicare un tipo di approccio fondato sul concetto di miglioramento continuo.

Il *Kaizen* come approccio per i sistemi di gestione per la Qualità si connette con concetti come:

1. Lean Manufacturing (Produzione snella);
2. Total Quality Management (TQM – Gestione della qualità totale);
3. Just in time (JIT – abbattimento delle scorte);
4. Kanban (metodo per la reintegrazione costante delle materie prime e dei semilavorati);
5. Riprogettazione dei processi aziendali
6. Statistical process control (controllo statistico dei processi [WIKI])

Una volta identificato attraverso la QA Matrix il problema che richiede maggiore priorità di intervento si procede con l'apertura di un *Kaizen*. Il *Kaizen* sfrutta la metodologia PDCA (Plan Do Check Act).

La metodologia PDCA, nota anche come *ciclo di Deming*, è un metodo di gestione iterativo in quattro fasi utilizzato per il controllo e il miglioramento continuo dei processi e dei prodotti.

1. *Plan (pianificazione)*: dopo aver identificato il problema, si stabiliscono gli obiettivi e le attività necessarie per fornire risultati in accordo con i risultati attesi. Si procede analizzando le cause e controllando i valori delle caratteristiche correlate al problema.
2. *Do (esecuzione delle attività)*: si individuano le contromisure, si attua il piano e si esegue il processo.
3. *Check (verifica)*: si analizzano le conseguenze delle azioni intraprese e si verifica se tali risultati sono in accordo con gli obiettivi che erano stati definiti nella fase iniziale. Se tutto va bene si passa all'ultima fase altrimenti si apportano ulteriori contromisure.
4. *Act (azione)*: se la soluzione implementata ha dato esito positivo, la si standardizza ed eventualmente la si estende ad altri processi dove si riscontra lo stesso problema. In questo caso non è più una prova come nella fase "Do" ma si è pienamente convinti di quello che si sta mettendo in atto al fine di creare cambiamento.

Per quanto riguarda i 7 step del *Problem Solving* (Figura 2.8), i primi quattro fanno riferimento alla fase *Plan* del ciclo di Deming, il quinto step alla fase *Do*, il sesto step alla fase *Check* e il settimo step alla fase *Act*.

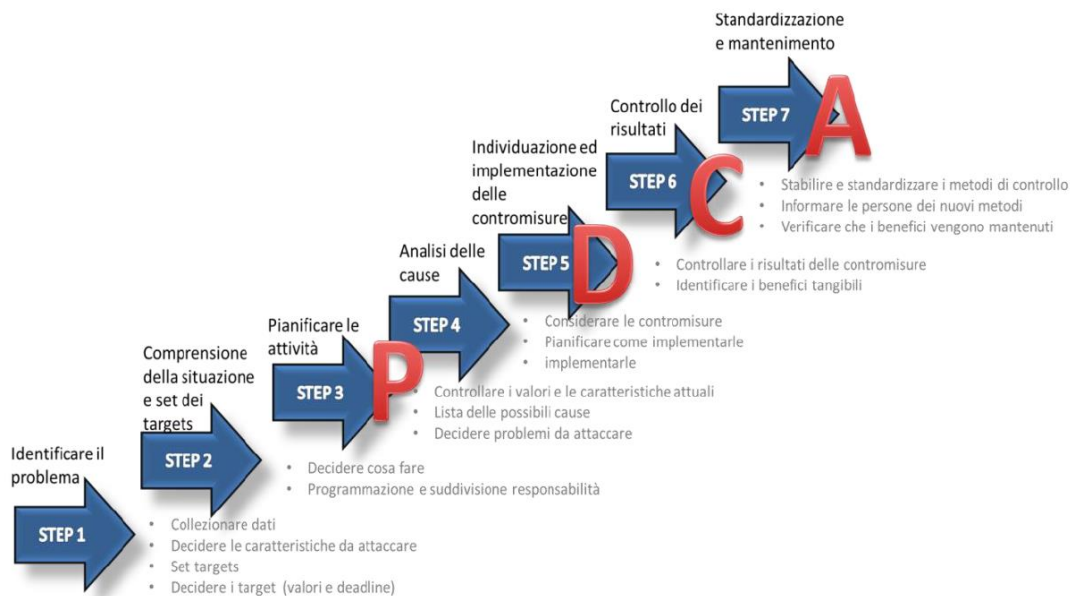


Figura 2.8 – I sette step del Problem Solving

2.5.1 Problemi legati al Method

Se dal diagramma di Ishikawa emerge la *M* di Method, allora ci si trova di fronte ad un problema di Metodo.

Per risolvere il problema attraverso i 7 step del *Problem Solving*, si procede adoperando il flow chart di standardizzazione (Figura 2.9).

In particolare, ci si chiede:

1. Se esiste uno standard di lavoro
2. Se lo standard di lavoro è appropriato
3. Se lo standard di lavoro è stato applicato

Nel caso di risposte negative, il flow chart di standardizzazione fornisce le adeguate contromisure.

Se le risposte alle tre domande sono affermative, occorre migliorare le condizioni di lavoro e migliorare le procedure con dispositivi a prova di errore (*error-proofing*).

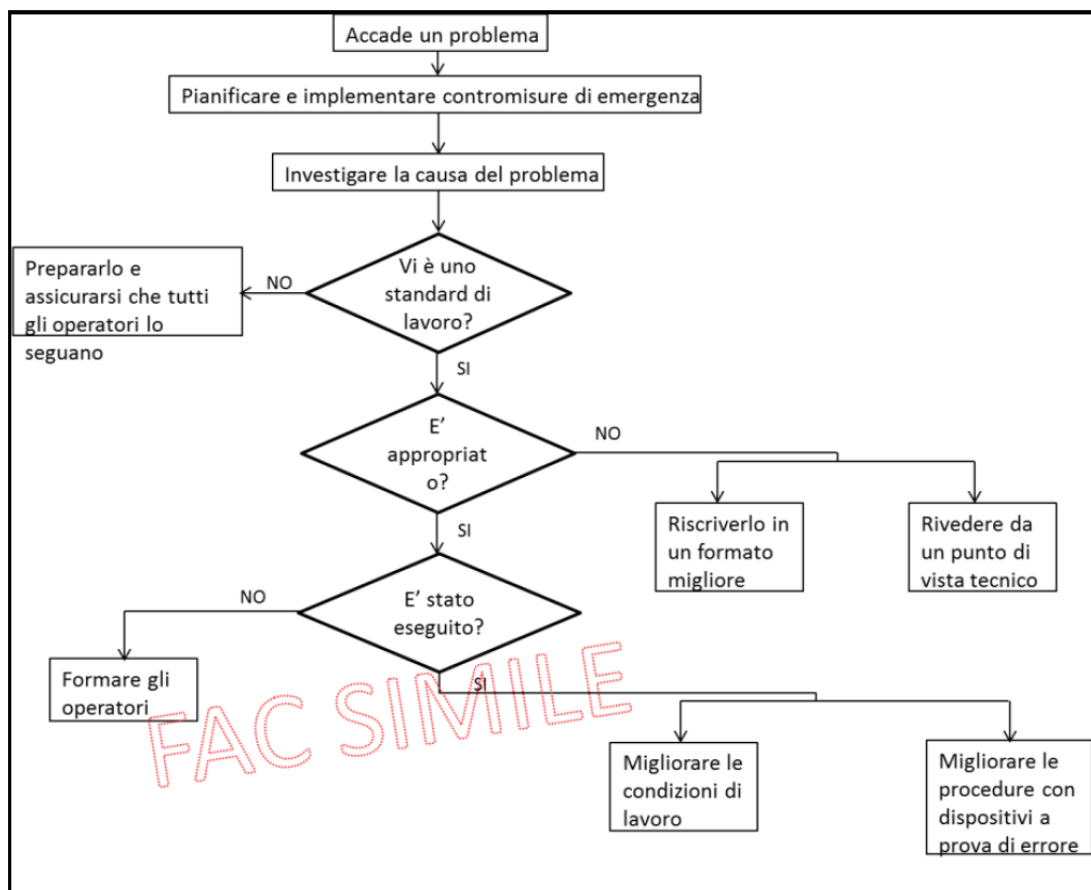


Figura 2.9 – Flow Chart di standardizzazione

È necessario che il metodo sia standardizzato in modo che gli operatori compiano il proprio lavoro in modo oggettivo evitando di generare difetti di qualità.

Gli standard di lavoro devono specificare i punti chiave ossia:

- I modelli a cui si applicano devono essere chiaramente indicati
- È possibile fare degli schizzi per facilitare la comprensione

- Descrivere chiaramente i valori di importanti caratteristiche
- Specificare le cause, non i risultati

Pertanto, standardizzare significa stabilire standard per materiali e metodi di lavoro e metterli in atto.

Quando si preparano gli standard di lavoro, è importante garantire:

- Che le procedure di lavoro siano appropriate.
- Che le norme siano espresse in termini specifici e concreti.
- Che le priorità siano chiare
- Che gli standard siano facilmente comprensibili e facciano un uso abbondante di diagrammi e grafici

In fase preventiva, si utilizzano le *Standard Operating Procedure (SOP)* e le *One Point Lesson (OPL)*, che sono delle metodologie atte ad istruire e guidare gli operatori ad eseguire specifiche operazioni, nell'interno limitare al massimo sprechi di tempo e di prestazione.

2.5.2 Problemi legati al Man

Se dal diagramma di Ishikawa emerge la *M* di Man, allora ci si trova di fronte ad un problema causato dall'errore umano.

Al fine di evitare il verificarsi degli errori commessi dalle persone bisogna conoscere le cause, comprendere i principali tipi di errori che incidono sulla capacità del processo e mettere in atto le contromisure per evitare il ripetersi.

L'errore umano può derivare dalle capacità professionali: in caso di *eccesso* è causato da una eccessiva confidenza; in caso di *difetto* è causato da un gap di capacità dovuto ad una mancanza di formazione o a una formazione non corretta.

L'errore può anche derivare da cattive abitudini costruite nel corso dell'esperienza oppure da una mancanza di attenzione dovuta a sovra affaticamento, problemi di salute, preoccupazione, stress, distrazione, alienazione, poca cura, assenza mentale.

Infine, l'errore può essere il risultato di incomprensione, giudizi errati, operazioni sbagliate.

L'approccio è quello di analizzare l'errore umano utilizzando il *TWTP+HERCA* allo scopo di individuare la *root cause* e quindi la giusta contromisura.

- *The Way To Teach People (TWTP)*: è uno strumento che serve a verificare se l'operatore ha le competenze necessarie per svolgere una determinata operazione. Si presenta sotto forma di questionario/intervista, formato dalle seguenti domande:
 1. Ti è chiara l'attività che devi svolgere?
 2. Come fai a capire che stai lavorando correttamente?
 3. Come fai a capire che l'attività che stai eseguendo è senza errori?
 4. Che cosa fai in caso di problemi?

- *Human Error Root Cause Analysis*: è uno strumento che serve a individuare eventuali altre possibili cause radice dell'errore umano che non siano legate alle mancate competenze dell'operatore.

A volte però, un problema apparentemente rimosso a seguito di analisi con l'approccio classico sopra descritto, si ripresenta subito o a distanza di qualche periodo. Significa che non è stata adottata la giusta contromisura, di solito a causa dell'errata individuazione della *root cause*.

In questi casi è necessario analizzare l'errore umano classificandolo secondo il processo di elaborazione dell'informazione nel cervello (riconoscimento-giudizio-azione).

Operativamente, questo si traduce con l'utilizzo dell'*Advanced Herca* per individuare la causa di errori umani cronici al fine di rimuovere alla radice il problema.

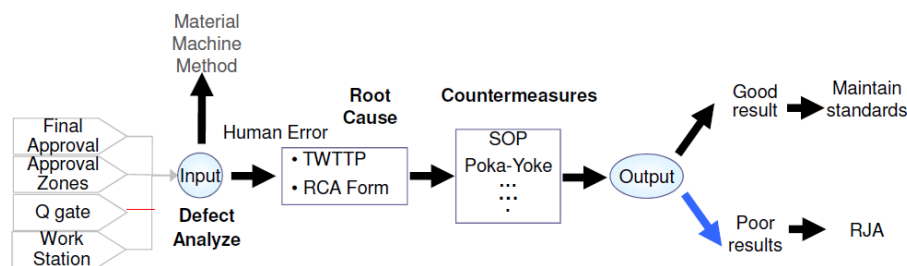


Figura 2.10 – Flusso di lavoro per problemi legati a Man

Il modello del trattamento dell'informazione (Figura 2.11) mostra come esso sia composto da tre fasi: riconoscimento di un'informazione, giudizio e azione. La fase del riconoscimento avviene nella memoria di breve periodo ed è formata dalla percezione dell'informazione e da una prima fase di analisi: è qui che si annida la causa radice dell'errore umano. La fase del giudizio è costituita dall'informazione che arriva in forma pretrattata, e dall'analisi, che è alimentata dalle verifiche operate sulla base della memoria a lungo termine e dalla costruzione dell'immagine e del modello interpretativo dell'informazione. Ultima attività della fase del giudizio è la decisione, che è seguita dalla fase di intervento operativo sull'oggetto.

Mentre la fase del riconoscimento è inconscia, la fase del giudizio è conscia.

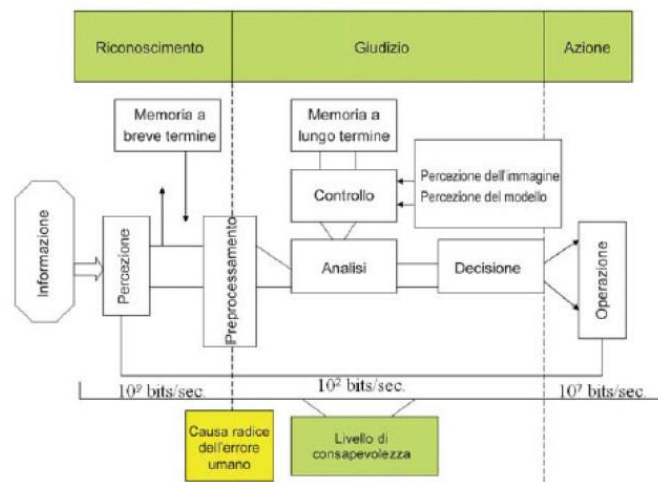


Figura 2.11 – Modello del trattamento dell'informazione

Una volta individuata la causa radice, è necessario prendere le adeguate contromisure. Per le linee di produzione occorre introdurre dei controlli che impediscano di deliberare pezzi difettosi, a tal fine occorre impostare la *Quality Assurance Network (QA Network)*. La *QA Network* (Figura 2.12) riporta in verticale difetti storici o potenziali, in orizzontale le operazioni della linea.

Dall'intersezione tra le 2 colonne, è possibile mettere in relazione il difetto con la postazione in cui si genera e il relativo tipo di controllo previsto per intercettare il difetto stesso.

La logica della QA Network è di intercettare il difetto dovuto all'errore umano in più postazioni della linea, fino a quando non sarà possibile introdurre dispositivi a prova di errore robusto ed efficace:

- *Fool Proof*: dispositivi che consentono di compiere le operazioni nel solo modo corretto impedendo l'accadimento dell'errore;
- *Error Proof*: dispositivi che intercettano l'errore causato da un'operazione mal eseguita impedendone il rilascio.

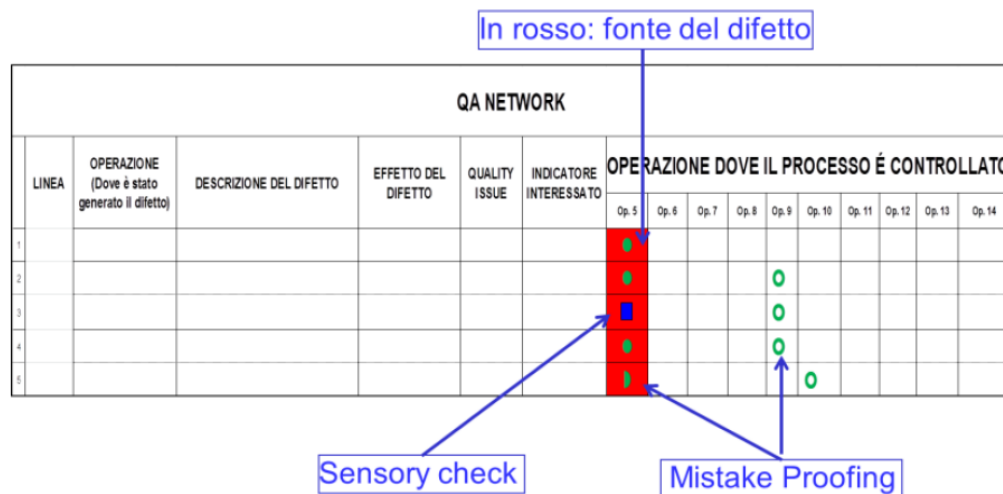


Figura 2.12 – Esempio di QA Network

Là dove invece i costi/benefici lo giustifichino, può essere opportuno introdurre la metodologia *Quality Gate (QG)*.

Questa metodologia consiste nell'individuare dei punti di delibera qualitativa all'interno del flusso, quindi in postazioni intermedie che precedono le postazioni finali di controllo. In caso di individuazione di difetto (legato all'errore umano) in queste postazioni di delibera,

l'operatore che ha generato il difetto viene coinvolto nelle fasi di:

- presa visione del difetto
- analisi per individuazione root cause
- risalita produttiva

al fine di sanare subito la situazione e di permettere all'operatore stesso di apprendere dall'errore commesso così da non ripeterlo.

2.5.3 Problemi legati al Material

Se dal diagramma di Ishikawa emerge la *M* di Material, allora ci si trova di fronte ad un problema di materiale.

Per risolvere questo tipo di problema si fa riferimento agli 8 stage dell'*Incoming Material*. Si definisce Stage Zero quello in cui è possibile inserire tutti i *parts number* forniti che hanno causato problemi al cliente o che hanno dato problematiche nello stabilimento.

Sui processi dei fornitori che forniscono tali componenti è necessario fare immediatamente delle attività al fine di gestire l'anomalia, riportandoli nelle condizioni di base, e sul proprio processo aziendale occorre introdurre i filtri atti a garantire il cliente finale.

Solo successivamente alla risoluzione del problema con relativa verifica efficacia, sarà possibile spostarsi dallo stage 1 allo stage 8 con l'obiettivo di ridurre i costi dei controlli di qualità.

A seconda del livello tecnico del fornitore, questo lo si può coinvolgere fin dalla fase di progetto al fine di migliorare continuamente la qualità del prodotto.

Stage	Fornitore	Cliente
1	No inspection	100% Inspection
2		
3		
4	100% Inspection	Sampling Inspection
5		Check Inspection
6		
7	Process control	No inspection
8		

Figura 2.13 – Incoming Material

Le attività condotte per la risoluzione dei problemi legati al Material sono mostrate in figura 2.14.

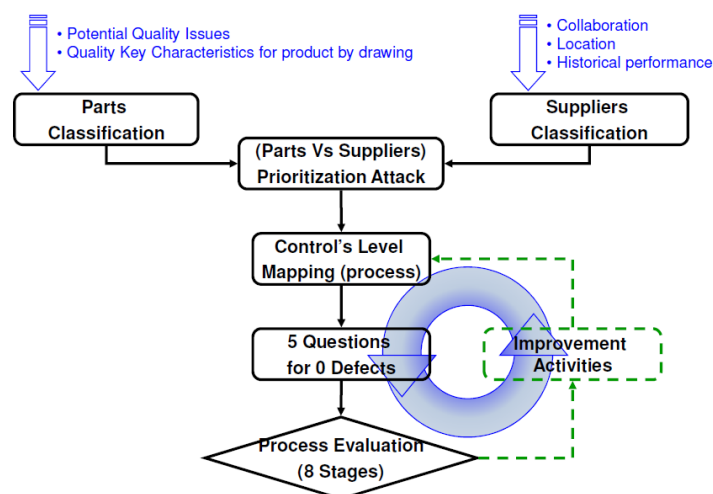


Figura 2.14 – Flow Chart delle attività

Operativamente, dopo aver classificato i part number e i fornitori, occorre scegliere la strategia più opportuna di crescita negli 8 stage basandosi sulla *S&P Matrix (Supplier & Parts Matrix)* dei part number appartenenti agli stage 1-8.

		Supplier classification			
P/N classification		AA	A	B	C
	AA	0	0	2	7
	A	0	5	40	3
	B	0	10	13	10
	C	1	1	2	1

Figura 2.15 – S&P Matrix

La logica di attacco è di dare priorità ai part number seguendo l'ordine dei colori rosso, giallo e verde.

La velocità di crescita negli 8 stage sarà esattamente contraria poiché i part number posizionati nella zona verde provengono da fornitori collaborativi e logisticamente vicini.

3. MIRAFIORI POWERTRAIN PLANT

3.1 Stabilimento

Lo stabilimento *Mirafiori Powertrain Plant* rappresenta uno dei 102 stabilimenti del gruppo automobilistico FCA [1]. *Fiat Chrysler Automobiles* progetta, sviluppa, produce e commercializza in tutto il mondo veicoli e relativi servizi post-vendita, ricambi e sistemi di produzione attraverso gli stabilimenti produttivi e 46 centri di *Ricerca e Sviluppo*. Tale gruppo opera nel mercato automotive con i marchi mostrati in figura 3.1: Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Dodge, Fiat, Fiat Professional, Jeep, Lancia, Ram e Maserati. Le attività del gruppo includono anche Mopar, che si occupano di servizi post-vendita e ricambi, Comau, per sistemi di produzione e Teksid per i processi fonderia.



Figura 3.1 – Automotive Brands [1]

Lo stabilimento *Mirafiori Powertrain Plant* fu inaugurato nel 1956 con la produzione di motori e di cambi automobilistici per i modelli Fiat 500, 600, 1300, 1500. Agli inizi degli anni '90, si assiste alla produzione del cambio C-514, il quale risulta essere l'attuale configurazione di cambio prodotto in tale stabilimento. Negli anni, i volumi di produzione di tale cambio sono stati via via crescenti.

Lo stabilimento ha fatto parte dell'implementazione della *Lean Manufacturing*, ottenendo nel 2005 il *First Level TPM Award* [1]. Dal 2007 è stato intrapreso il percorso di implementazione del WCM raggiungendo nel 2009 il livello *Bronzo*. Nel 2013 è stato raggiunto il livello *Silver*.

Come si osserva dalla figura 3.2, lo stabilimento si estende in un'area di 94 m².

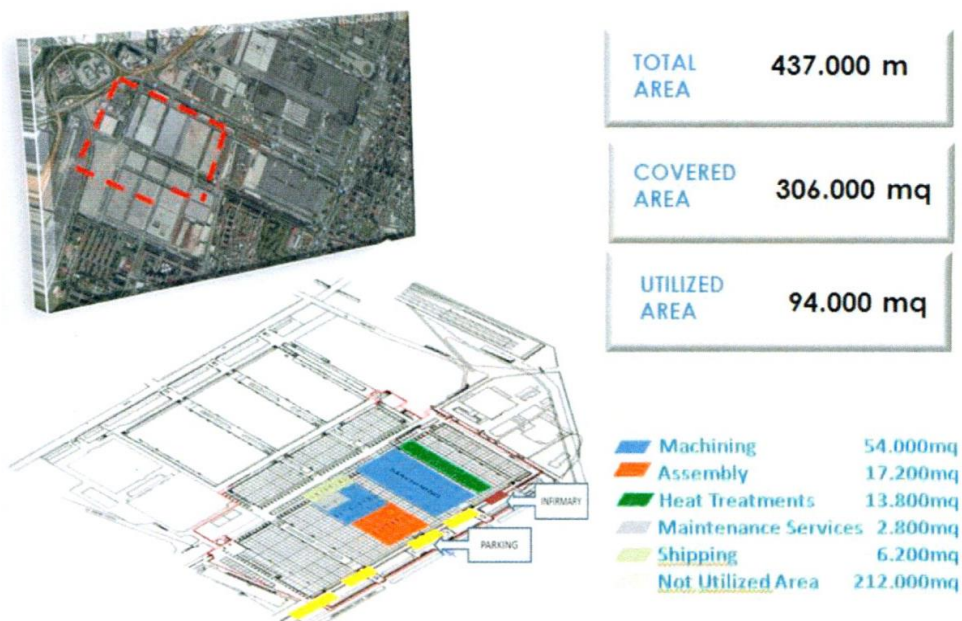


Figura 3.2 – Suddivisione stabilimento [1]

Sempre in figura 3.2, si osserva la suddivisione dell'area in quattro parti:

- *Machining*: area di lavorazione meccanica del cambio, partendo dai grezzi fino al raggiungimento di pezzi finiti;
- *Heat Treatment*: area di trattamento termico eseguito sui pezzi lavorati in precedenza. Tale operazione è importante al fine di conferire le giuste caratteristiche meccaniche ai componenti;
- *Assembling*: area di montaggio dove sono presenti linee pre-assemblaggio dei sottogruppi meccanici per poi seguire con le linee di assemblaggio del prodotto finale. Inoltre, sono previsti i controlli qualità, collaudi e delibera finale.
- *Shipping*: area di spedizione dei cambi ai clienti.

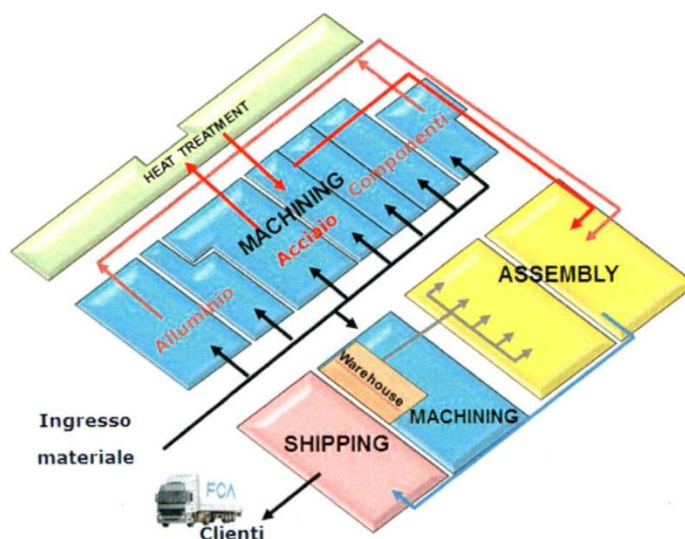


Figura 3.3 – Suddivisione delle aree [1]

L'impostazione tecnologica di produzione è articolata per linee di prodotto raggruppate in UTE (*Unità Tecnologiche Elementari*). Ogni UTE comprende una serie di lavorazioni, ognuna delle quali svolge una specifica e attenta lavorazione. All'interno dello stabilimento sono presenti processi e impianti caratterizzati dai più alti livelli di automazione, optando verso un controllo con elevato livello di affidabilità del processo di esecuzione.

3.1.1 Machining

In tale area vengono eseguite le lavorazioni per poter ottenere tutti i componenti che costituiscono il cambio automobilistico. Tali lavorazioni si distinguono in:

- Lavorazioni riguardanti l'involucro esterno del cambio;
- Lavorazioni che interessano i componenti interni della trasmissione meccanica, ossia ingranaggi, manicotti, alberi, scatola differenziale e corona cilindrica;
- Lavorazioni riguardanti gli organi di comando e gli accessori.

Le UTE dell'area di lavorazione si distinguono in due parti:

- *Pre-trattamento termico*, dove sono presenti i processi di lavorazione dei "pezzi in bianco", ossia dei pezzi di cui si vuole ottenere la forma finale desiderata;
- *Post-trattamento termico*, dove fanno parte i processi di finitura dei "pezzi in nero" finalizzati all'ottenimento delle tolleranze e finiture superficiali richieste da cartellino operativo.

3.1.2 Heat Treatment

Per trattamento termico si intende una successione di operazioni termiche con lo scopo di ottenere determinate proprietà meccaniche da conferire al componente. In realtà, si tratta di processi che hanno lo scopo di modificare la struttura cristallina del pezzo, secondo le caratteristiche che si vogliono raggiungere. Successivamente, si procede a sottoporre il pezzo a prove meccaniche per analizzarne la durezza. Tale area è interposta tra la lavorazione e la finitura dei pezzi.

3.1.3 Assembling

Dopo la lavorazione e i trattamenti termici, i pezzi vengono inviati, tramite trasportatori autoguidati (AGV), all'area di montaggio. La linea di assemblaggio ha una struttura ad anello chiuso, sulla quale i pallet avanzano lungo la sequenza di stazioni di montaggio per mezzo di un sistema di movimentazione a catena. Ciascuna stazione ha tre funzioni principali:

- Caricamento del particolare o del sottogruppo sul pallet;
- Collocazione dei componenti nella posizione di montaggio;

- Esecuzione montaggio del componente.

Al termine del montaggio, i pezzi sono sottoposti a collaudo. Durante tale fase vengono controllate le tenute, la rumorosità, la manovrabilità e altre caratteristiche necessarie per la qualità del particolare finito.

Infine, si esegue il montaggio dei componenti esterni alla scatola del cambio.

3.2 Cambio C-514

La funzione principale del cambio è controllare la velocità e la coppia disponibili sulle ruote secondo le diverse condizioni di guida.

I cambi possono essere classificati in base al tipo di sistema utilizzato per comandare l'inserimento delle marce: manuale o automatico.

I cambi manuali equipaggiano la stragrande maggioranza delle vetture in circolazione, essi prevedono l'implementazione di cinque o sei marce mediante l'utilizzo di coppie di ingranaggi. Negli ultimi anni si stanno rapidamente diffondendo anche i cambi robotizzati che sono costituiti dai classici cambi a coppie d'ingranaggi sui quali sono implementati dei servocomandi che permettono di selezionare e inserire le marce senza l'intervento del guidatore.

I cambi automatici sono costituiti da un convertitore di coppia idrodinamico e da rotismi epicycloidali.

I cambi manuali utilizzati per gli autoveicoli possono essere classificati in base al sistema utilizzato per innestare le marce:

- A ingranaggi scorrevoli;
- A presa continua;
- Sincronizzati.

In realtà i moderni cambi automobilistici sono tutti sincronizzati.

Da un punto di vista funzionale i sottosistemi fondamentali di un cambio manuale sono:

- Dispositivo di comando che è attivato dal guidatore per definire la marcia da innestare: leva collocata tra i sedili anteriori. Mediante l'azionamento della leva si sceglie la marcia da inserire e si fornisce anche l'energia (muscolare) necessaria per l'inserimento.
- Dispositivi di trasferimento (cavi e aste scorrevoli) che permettono di tradurre l'input dell'utente ai sottosistemi successivi.
- Dispositivi di selezione e innesto delle marce (forcelle e manicotti).
- Sincronizzatori: permettono di realizzare un inserimento preciso e silenzioso delle marce. Essi agiscono portando in contatto gli elementi da accoppiare e sfruttandone la diversa velocità periferica che genera un'azione di attrito che frena l'elemento più veloce e accelera l'altro fino a portarli alla stessa velocità (sincronismo).

- Sistema di trasmissione del moto: ruote dentate e alberi.
- Dispositivi di sicurezza (bloccaggio e arresto). Una volta avvenuto l'innesto, impediscono che la marcia si disinserisca da sola o che possa essere contemporaneamente inserita un'altra marcia.
- Gli alberi con le ruote dentate, i sincronizzatori, i dispositivi di sicurezza, le forcelle e almeno una parte delle aste di comando, sono contenuti nella scatola del cambio.

Il cambio C-514 è un cambio con sistema sincronizzato. È stato progettato agli inizi degli anni 90' per veicoli a trazione anteriore. Esso è costituito da due alberi sui quali vengono posizionati gli ingranaggi, dimensionati in modo da avere i rapporti di trasmissione richiesti. L'albero primario preleva la potenza fornita dal motore e la trasmette all'albero secondario attraverso l'ingranamento degli ingranaggi meccanici.

Per l'innesto sono introdotti tre componenti: coroncina con dentatura d'innesto sull'ingranaggio, mozzo, manicotto. Il mozzo è fissato all'albero, il manicotto è libero di muoversi sopra il mozzo come mostra la Figura 3.4.

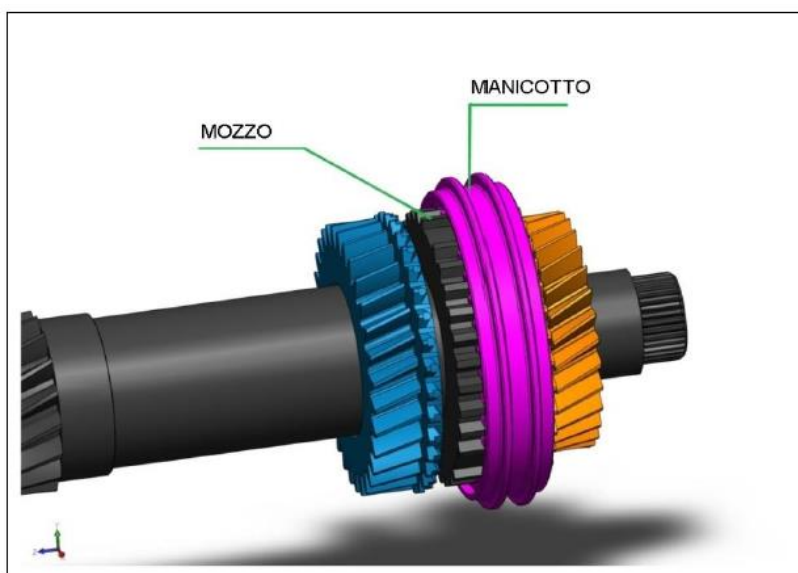


Figura 3.4 – Mozzo e Manicotto

L'introduzione dell'anello sincronizzatore (Figura 3.5) aiuta a sincronizzare la velocità dell'ingranaggio con quella dell'albero, l'anello è in grado di ruotare assieme al mozzo ma può comunque scorrere assialmente.



Figura 3.5 – Anello sincronizzatore

Dopo aver premuto il pedale della frizione, si muove la leva del cambio per innestare la marcia: il manicotto si sposta e preme il sincronizzatore contro la coroncina d'innesto dell'ingranaggio. Sul lato della coroncina, l'ingranaggio è costituito da un cono (Figura 3.6), che ha lo scopo di allineare le velocità dell'ingranaggio e dell'anello sincronizzatore; in questa condizione la velocità dell'ingranaggio è la stessa dell'albero: il manicotto può scorrere facilmente sulla dentatura d'innesto e quindi sull'ingranaggio stesso. In questo modo la ruota rimane bloccata con l'albero in un modo efficiente e regolare.

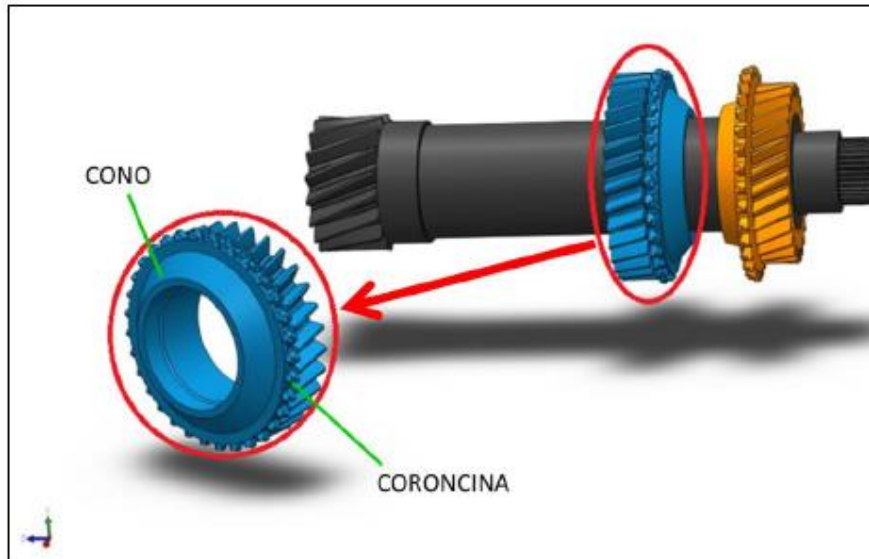


Figura 3.6 – Coroncina d'innesto e cono su ingranaggio per anello sincronizzatore

Nel cambio C-514, e in generale in un cambio sincronizzato, esistono quindi tre manicotti: uno per la prima e seconda velocità, l'altro per terza e quarta, e infine l'ultimo per la quinta ed eventualmente la sesta velocità. Ogni manicotto è mosso assialmente grazie alle forcelle e alla leva selezione marce, a sua volta comandata dalla leva tra i sedili mossa manualmente dal conducente.

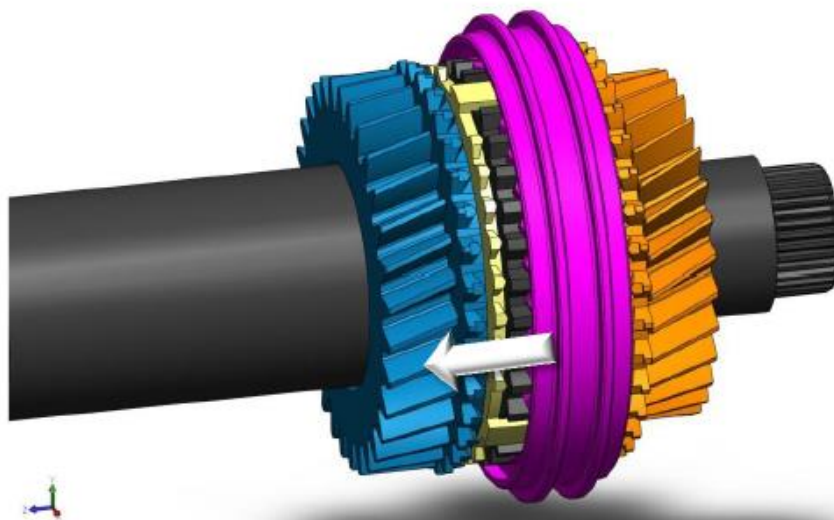


Figura 3.7 – Innesto della quarta velocità

Una volta inserita la marcia, l'albero secondario ruoterà alla velocità desiderata. Per trasferire la coppia alle ruote si utilizza il differenziale, un dispositivo meccanico che riceve la coppia motrice dall'albero secondario e la ripartisce su altri due grazie all'accoppiamento di ingranaggi satelliti e planetari. Il differenziale è un meccanismo di riduzione che permette alle due ruote sullo stesso asse di ruotare a velocità differenti. Per collegare il cambio al differenziale esiste sull'albero secondario una ruota dentata chiamata impropriamente *pignone* (ricavata di pezzo sull'albero) che ingrana con la corona del differenziale, in questo modo si fornisce la riduzione finale che è necessaria per ripartire sui due semialberi delle ruote coppie e velocità differenti.

Infine, per l'innesto della retromarcia, esiste un ulteriore albero su cui è calettato l'ingranaggio di retromarcia, quest'ultimo ingrana con un sistema di ingranaggi che modificano il verso di rotazione dell'albero secondario.

Il complesso di rotismi, alberi e ingranaggi è allocato all'interno di un involucro in alluminio, detta *scatola del cambio*. All'interno di essa sono previsti le sedi per i cuscinetti, la sede per l'organo di tenuta e i tappi per l'olio lubrificante.

Il cambio C-514 viene prodotto in 4 versioni come mostrato nelle seguenti figure.

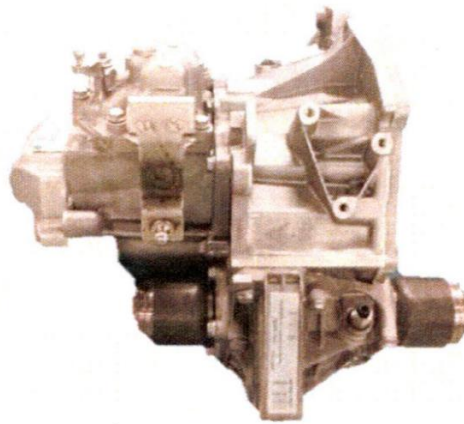


Figura 3.8 – Cambio a 5 marce [1]

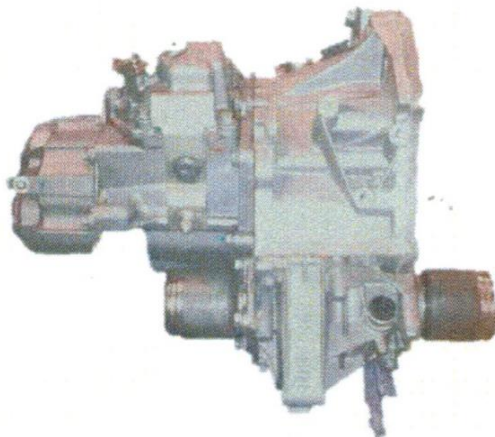


Figura 3.9 – Cambio a 6 marce [1]

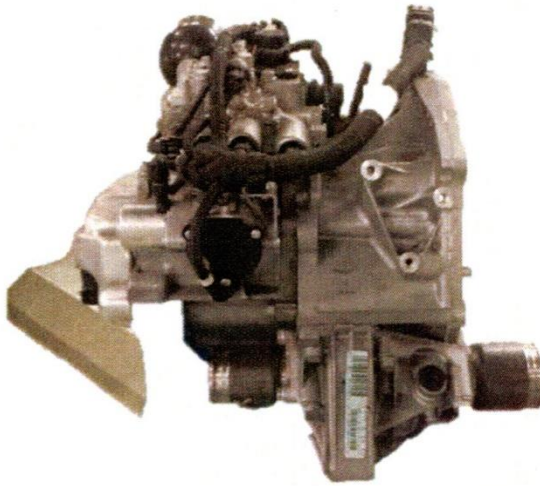


Figura 3.10 – Cambio MTA: l'innesto e il disinnesto sono svolti da un servocomando idraulico [1]

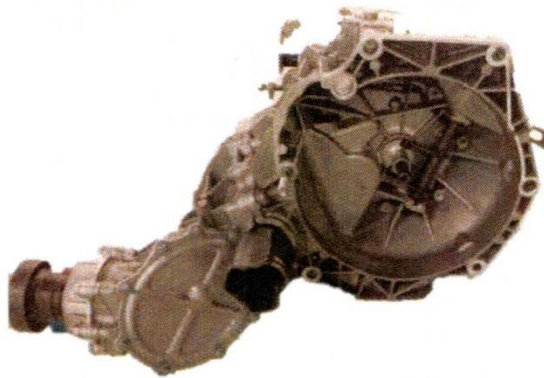


Figura 3.11 – Cambio AWD: versione adatta per veicoli a trazione integrale [1]

Questo cambio viene realizzato e allestito per diversi modelli di veicolo appartenenti al gruppo FCA. Una volta che il prodotto viene realizzato, esso viene spedito negli allestimenti di carrozzeria presso i quali vengono realizzati i vari veicoli.

4. MANUTENZIONE

4.1 Introduzione alla manutenzione

Secondo la normativa “UNI9910 – Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio”, la manutenzione è stata definita come *la combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare un'entità in uno stato in cui possa svolgere la funzione richiesta.*

Gli obiettivi possono essere così elencati:

- Minimizzare le fermate per guasti assicurando la stabilità di marcia degli impianti
- Mantenere strutture e macchine in grado di funzionare nelle condizioni stabilite
- Contribuire ad aumentare l'efficienza del Sistema produttivo
- Effettuare le attività con la massima economicità
- Conservare il patrimonio impiantistico aziendale per l'intera vita utile
- Contribuire a garantire la sicurezza del personale e la tutela dell'ambiente.

Le attività necessarie per raggiungere tali obiettivi sono di natura esecutiva (lubrificazione, pulizia, ispezioni e controlli, ...), tecnica (preparazione dei piani di manutenzione preventiva, analisi dei guasti, calcolo dei KPI, ...) e gestionale (elaborazione di rapporti periodici su andamenti e consumi, individuazione di ricambi e materiali, quantità a magazzino e livelli di riordino, ...).

La strategia di manutenzione viene definita tenendo conto del tipo di produzione, del territorio dove l'azienda opera, del livello di personale e della cultura diffusa.

La scelta delle politiche di manutenzione più consone agli obiettivi aziendali deve seguire precise logiche derivanti dalla conoscenza approfondita degli impianti, dall'analisi dei guasti e da valutazioni di carattere economico relative al costo del ciclo di vita di macchine e impianti che costituiscono il patrimonio aziendale.

4.2 Tipologie di manutenzione

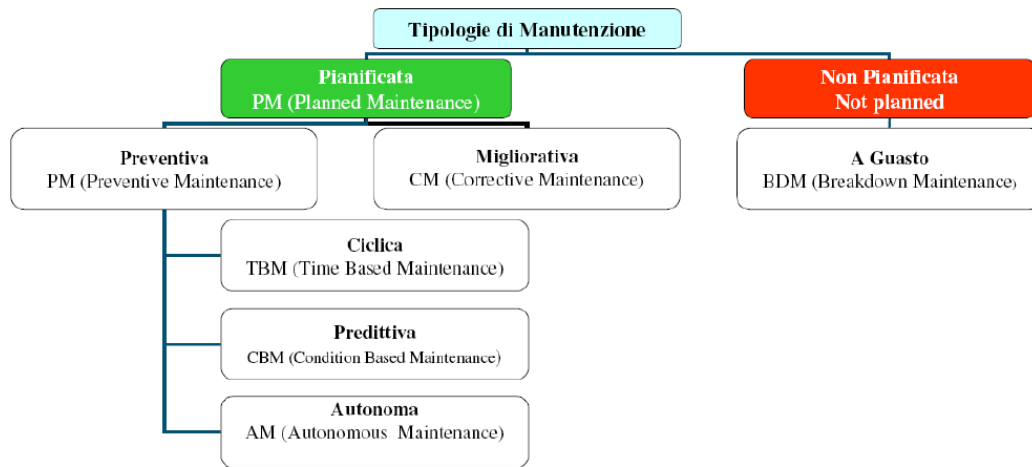


Figura 4.1 – Tipologie di manutenzione

Facendo riferimento all'immagine, le tipologie di manutenzione si distinguono in *pianificata* (preventiva, migliorativa) e *non pianificata* (a guasto BDM – *Breakdown Maintenance*).

La manutenzione a guasto (BDM) è eseguita in seguito ad un'avaria ed è volta a riportare un'entità nello stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta secondo la normativa UNI 10147.

Questa strategia presenta aspetti contrastanti: il fattore positivo è rappresentato da un costo di manutenzione e di fermo macchina pressoché nullo finché la macchina funziona. Tuttavia, se applicata in maniera indiscriminata emergono fattori negativi che possono essere sintetizzati in una perdita di ricavi dovuti al fermo macchina per guasto, all'imprevedibilità dell'intervento, e quindi alle eventuali operazioni di deviazione del flusso produttivo in corso e al probabile alto costo di riparazione. Infatti, un guasto ad un componente che si protrae per molto tempo, può avere effetti dannosi a catena e danneggiare altri componenti della macchina.

Questo tipo di manutenzione è efficace quando le tipologie di guasto sono facilmente riparabili e si operi in un contesto produttivo in cui il fermo macchina non comporta gravi danni al ciclo produttivo.

Vantaggi:

- Basso costo, ove applicata correttamente;
- Non richiede altra pianificazione che la disponibilità delle parti di ricambio;
- Richiede competenze manutentive limitate alle sole attività di diagnosi e sostituzione

Svantaggi:

- Non ci sono preavvisi di guasto (rischio anche per la sicurezza);
- Perdite di produzione incontrollate;
- Richiede un gran numero di manutentori disponibili

La manutenzione migliorativa tende a superare la concezione della manutenzione intesa solo come ripristino e/o prevenzione del guasto. Con questa politica si ha un'evoluzione verso il miglioramento continuo. Essa comprende tutte le azioni di miglioramento o piccole modifiche all'impianto tali da aumentare la disponibilità, gli standard qualitativi e a diminuire i costi di manutenzione.

Vantaggi:

- Riduzione dei costi di manutenzione;
- Comprensione delle modalità di funzionamento di un componente/Gruppo.

Svantaggi:

- I progetti di modifica possono essere costosi e richiedere fermi macchina lunghi per implementarli;
- Problemi inaspettati possono insorgere a causa di interventi di modifica;
- Risolvere un problema in un'area può sovraccaricare e causare problemi in un'altra.

La manutenzione preventiva è definita secondo la normativa UNI 9910 *la manutenzione eseguita ad intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre la probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità*.

Questa soluzione si adotta solo in particolari situazioni: in casi di gruppi funzionali o componenti di macchine che operano in aziende di processo a ciclo continuo e la cui interruzione del servizio possa provocare effetti gravissimi sulla sicurezza e salute delle persone o dell'ambiente, o sugli impianti, e per i quali non sia possibile adottare tecniche predittive; oppure nel caso opposto in cui il costo dell'ispezione sia superiore a quello del componente stesso.

La rilevazione del tempo medio tra due guasti consente di redigere calendari di intervento preventivi basati su una certa probabilità che il guasto non si manifesti nell'arco di tempo che intercorre fra due sostituzioni successive.

La manutenzione ciclica (TBM) è efficace sia in termini economici che di riduzione dell'indisponibilità della macchina, quando il guasto presenta una certa irregolarità di accadimento. In molti casi, però risulta difficile prevedere l'accadimento di un guasto, per cui non è conveniente applicare in modo rigido tecniche di manutenzione programmata, in quanto si rischia di sostituire un componente la cui vita utile è tutt'altro che terminata. Per ovviare a questo inconveniente, la soluzione generalmente adottata è quella di constatare le condizioni del componente ed eventualmente procedere alla sostituzione.

Vantaggi:

- Riduzione dei guasti;
- Utilizzo più efficiente della manodopera manutentiva;
- Attività manutentiva pianificata

Svantaggi:

- Non viene utilizzata completamente la vita utile del componente;
- Viene eseguita della manutenzione evasiva e non necessaria;
- Applicabile principalmente al deterioramento legato all'usura

La manutenzione a condizione (CBM) tende ad individuare lo stato di un componente che potenzialmente potrebbe provocare un guasto.

La modalità di ispezione può essere sia visiva che strumentale, a seconda della tipologia di macchina e della sua criticità nel processo produttivo. In particolare, all'interno di questa politica si colloca la *manutenzione predittiva*.

L'idea di base della manutenzione predittiva si fonda su un controllo dello stato delle apparecchiature tale da non interrompere il regolare funzionamento, ma da segnalarne con anticipo il progressivo degrado. Lo scopo della manutenzione predittiva è quello di minimizzare il numero di ispezioni o di revisioni.

La manutenzione predittiva nel WCM è applicabile se il costo della singola ispezione è minore del costo globale dell'intervento preventivo che, a sua volta, è inferiore al costo globale del guasto.

$$C_i < C_p < C_g$$

Dove:

- C_i è il costo della singola ispezione (*inspection cost*)
- C_p è il costo globale dell'intervento preventivo (*total preventive intervention cost*)
- C_g è il costo globale del guasto (*total breackdown cost*)

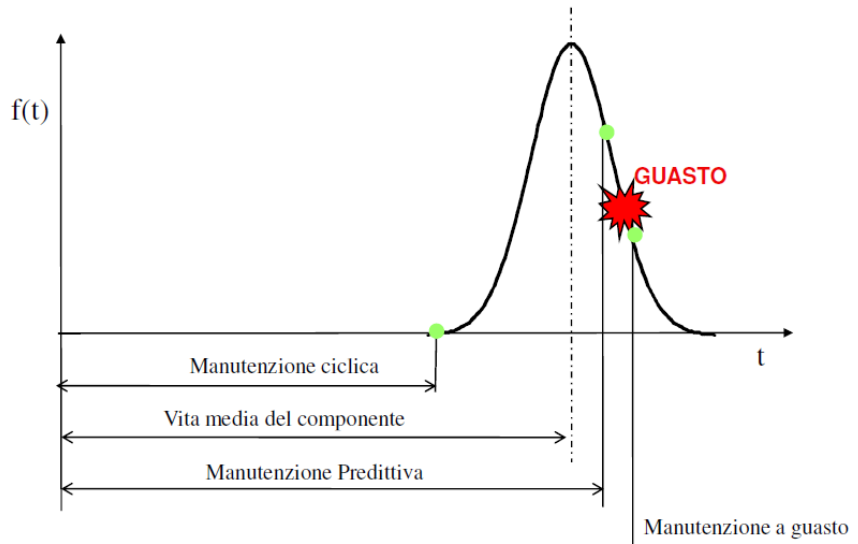
Vantaggi:

- Massimizza la disponibilità degli impianti e sfrutta al meglio la vita utile dei componenti;
- Alcune forme di ispezione che utilizzano i 5 sensi non sono costose e sono molto semplici;
- Consente di fermarsi prima che capitino guasti e danneggiamenti severi;
- La manutenzione può essere programmata e la manodopera organizzata;
- Le parti di ricambio possono essere approvvigionate tempestivamente.

Svantaggi:

- Analisi di vibrazioni, termografie ed analisi oli esausti richiedono strumenti e competenze specifiche;
- Vanno scelte con cura le tecniche corrette;
- È necessario un periodo di tempo per costruire i trend e stabilire il legame con le condizioni degli impianti;
- Richiede un'ottima conoscenza della macchina e dei modi di guasto.

La manutenzione autonoma (AM) tende a prevenire il deterioramento forzato attraverso semplici attività, fatti dagli operatori. Questi riguardano pulizia, lubrificazione, serraggi e ispezioni e garantiscono il mantenimento delle condizioni di base per il corretto funzionamento dell'entità.



- Momento in cui dovrebbe essere eseguita la sostituzione del componente in funzione delle tipologia di manutenzione applicata

Figura 4.2 – Impatti delle tipologie di manutenzione sulla durata dei componenti

4.3 L'ingegneria di manutenzione

L'ingegneria di manutenzione, avendo lo scopo di massimizzare le prestazioni globali del sistema produttivo, ha l'obiettivo di cercare il punto di equilibrio fra costi di manutenzione e perdite di produzione e, per ottenere ciò, utilizza la politica di manutenzione più consona a conseguire i propri obiettivi: *a guasto* per macchine non critiche, *preventiva con ispezioni e sostituzioni programmate* per macchine di crescente importanza, *predittiva* per componenti strategici.

La scelta della politica, o meglio delle politiche di manutenzione deriva da un'analisi preliminare degli impianti, per definire il livello di criticità e decidere la tipologia di approccio più adatto.

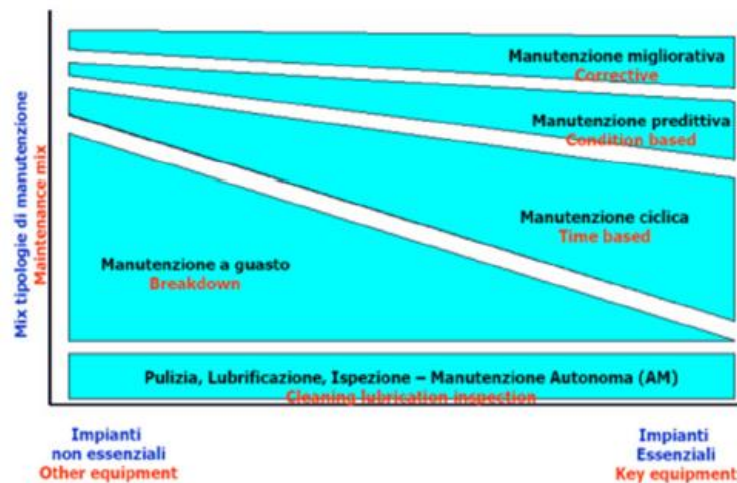


Figura 4.3 – Tipologia di manutenzione in base al tipo di impianto

Osservando la curva di costo delle attività di manutenzione, si rileva che la scelta di una prevalenza di manutenzione a guasto minimizza i costi.

Osservando, invece, la curva di costo ottenuta come sommatoria delle attività di produzione e di manutenzione, si evince che con una predominanza di manutenzione preventiva, rispetto a quella a guasto, si può ottenere il giusto mix che minimizza i costi totali.

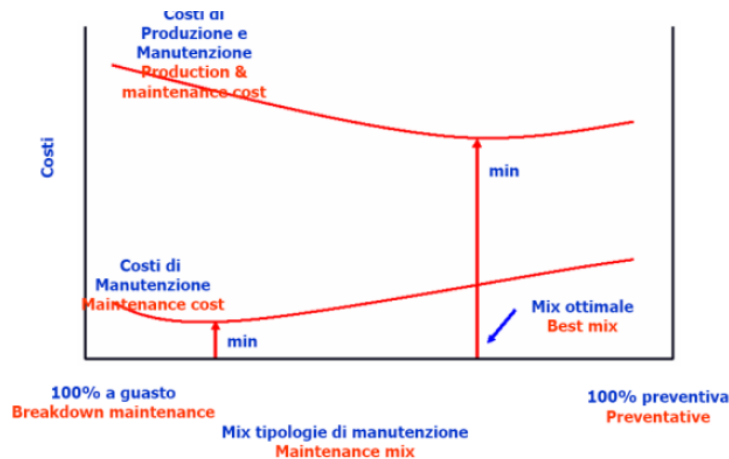


Figura 4.4 – Curva di costo

È buona norma impostare l'analisi tecnica in maniera strutturata servendosi di indicatori oggettivi, facilmente misurabili, per definire il livello di criticità di un impianto e dei suoi componenti. Solitamente si definiscono:

- *Macchine non critiche*: caratterizzate da semplicità costruttiva, da facilità di manutenzione o marginalità di utilizzo nel contesto produttivo, per le quali può essere sufficiente e conveniente adottare una politica “a guasto”. Infatti, la loro eventuale messa fuori servizio non implica problemi al processo produttivo, né alla qualità del prodotto.
- *Macchine critiche*: incidono direttamente e drasticamente su quantità e qualità del processo produttivo, per cui è opportuno concentrare gli sforzi per minimizzare guasti o fermate non previste. Per questa classe di machine è necessario adottare tecniche preventive e, dove possibile, anche predittive.

In particolare, si può dire che la scelta della politica di manutenzione da adottare dipende da tre fattori:

1. Fattibilità tecnica dell'ispezione
2. Relazione tra frequenza dei guasti e gravità dei guasti
3. Relazione tra tasso di guasto e costi

4.4 La teoria della manutenzione

Una generica macchina viene progettata e costruita per svolgere una missione nota a priori e di cui si conoscono le caratteristiche in termini di tempi, di prestazioni e di costi. Il suo funzionamento, basato sulla continua interazione tra i sottosistemi che la compongono, non è tuttavia continuo nel tempo a causa delle inevitabili anomalie che insorgono nel corso della sua vita utile e che possono essere determinate da svariati fattori umani e ambientali. In questo contesto di possibile interruzione della funzionalità si inseriscono i concetti di *affidabilità* e *disponibilità*.

L'affidabilità può essere definita come *la probabilità che un elemento funzioni senza guastarsi per un determinato tempo t dal suo avviamento ed in predeterminate condizioni ambientali*.

La disponibilità può invece essere definita come *la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso dell'elemento*.

Se in ambito sicurezza, l'affidabilità assume un ruolo della massima importanza, a livello produttivo il suo posto viene spesso preso dalla disponibilità attraverso la quale il gestore d'impianto riesce a monitorare la reale efficienza operativa delle macchine nel corso della loro vita utile.

Poiché le macchine si guastano, l'affidabilità e la disponibilità vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate *politiche manutentive* che, se da un lato contribuiscono ad

un funzionamento globale regolare e continuativo, dall'altro rappresentano un onere economico spesso non indifferente.

Lo studio dell'affidabilità si applica in genere a quei componenti che, nel corso della vita utile, non possono essere tecnicamente o economicamente riparati.

Si consideri ad esempio il caso di un determinato tipo di lampadina. Si tratta di un oggetto la cui funzione si esaurisce dopo un certo numero di ore di funzionamento e che non può essere riparato. Un metodo semplice per stimare l'affidabilità è il seguente:

- Si prendano un certo numero di lampadine, ad esempio 100, e si accendano contemporaneamente al tempo zero. La *missione* delle lampade è quella di rimanere accese.
- Dopo un'ora di funzionamento alcune lampade cessano di funzionare: si supponga che si spengano 2 lampade. In tal caso si può affermare che l'affidabilità di una lampadina nuova scelta a campione tra quelle prodotte è del 98% in un'ora
- Dopo 1000 ore di funzionamento si supponga che funzionino ancora 70 lampade su 100. Si dirà che l'affidabilità di quel tipo di lampadina è del 70% su 1000 ore di funzionamento.

Il risultato di questo test può essere visualizzato in un grafico qualitativo come il seguente, in cui vengono contemporaneamente messe in evidenza, in funzione del tempo di funzionamento, le curve del numero di guasti osservati e la probabilità di buon funzionamento della lampada secondo una legge di tipo gaussiano.

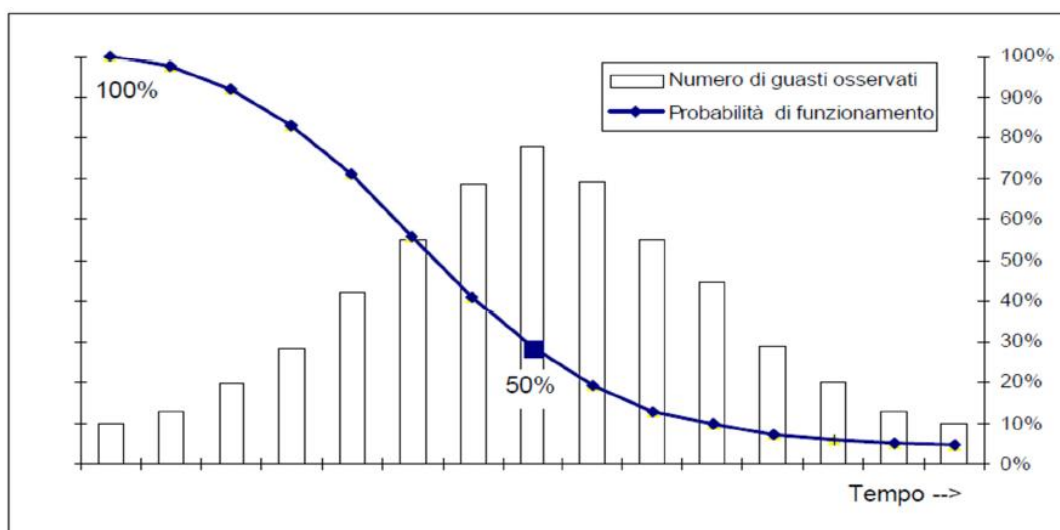


Figura 4.5 – Numero di guasti e probabilità di funzionamento

È chiaro che, più elevato è il numero di lampadine testate e più precisa risulterà la valutazione della probabilità di funzionamento.

In un'ottica manutentiva, conoscere la probabilità di buon funzionamento di un componente in un certo periodo di tempo (cioè conoscere l'affidabilità) consente di intervenire prima che si verifichi il guasto.

I presupposti per una corretta applicazione dell'affidabilità al mondo operativo possono essere individuati come segue:

- Definizione di un criterio univoco ed oggettivo per il riconoscimento dello stato di guasto
- Determinazione dell'intervallo di tempo t entro il quale è richiesto che la macchina o l'elemento considerate debbano funzionare per portare a termine la missione
- Determinazione delle *condizioni ambientali* in cui la macchina deve svolgere la missione.

Nel caso in cui sia possibile ripristinare la funzionalità, in particolare per quei dispositivi a cui è richiesto un notevole aumento di cicli del tipo rottura-riparazione-ripristino si ricorre spesso alla valutazione della disponibilità.

La norma UNI 9910 definisce la disponibilità come *l'attitudine di una entità a essere in grado di svolgere una funzione richiesta in determinate condizioni a un dato istante, o durante un dato intervallo di tempo, supponendo che siano assicurati i mezzi esterni eventualmente necessari.*

La disponibilità A di una macchina può essere definita come la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso della macchina.

Chiamati rispettivamente UT (*Up Time*) il tempo in cui il sistema è realmente disponibile all'uso e DT (*Down Time*) il tempo in cui la macchina è ferma per guasto o per riparazione, la disponibilità A vale (in percentuale):

$$A = \frac{UT}{UT + DT} \quad (eq\ 4.1)$$

Per sistemi riparabili, si può assumere che UT coincida con l' $MTBF$ (*Mean Time Between Failures*), ossia il tempo medio tra due guasti, e il DT con l' $MTTR$ (*Mean Time To Repair*), ossia il tempo medio di ripristino della funzionalità, e quindi la relazione precedente può essere descritta come:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (eq\ 4.2)$$

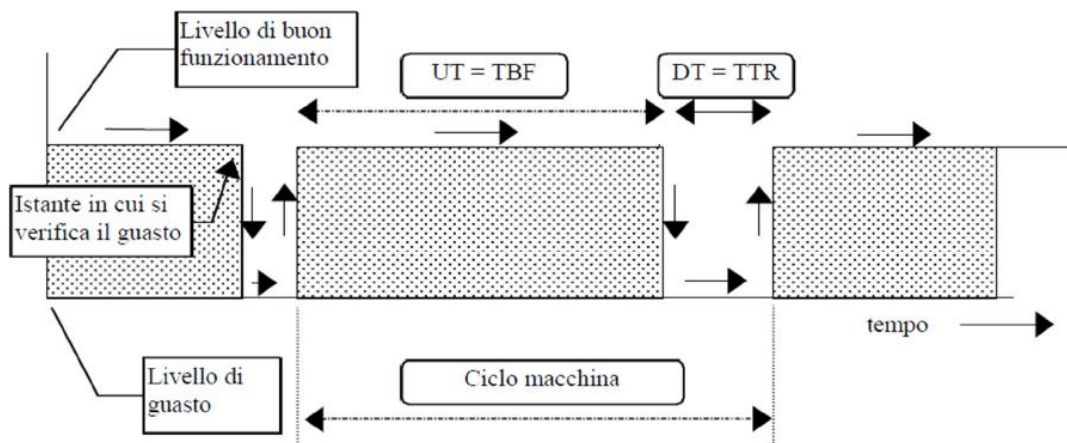


Figura 4.6 – Concetto di disponibilità

A parità di tempo medio tra due rotture (uguale MTBF), una macchina o un componente facilmente riparabile è quindi più disponibile di un altro avente MTTR più elevato; analogamente la disponibilità di due sistemi con simile tempo di riparazione, cresce al crescere dell'MTBF cioè della sua affidabilità all'interno del periodo di funzionamento richiesto.

L'andamento del tasso di guasto $\lambda(t)$, ovvero la frequenza con cui le macchine si guastano nel corso della vita utile, può in genere essere rappresentato con una curva che, per la particolare forma, viene chiamata *a vasca da bagno*.

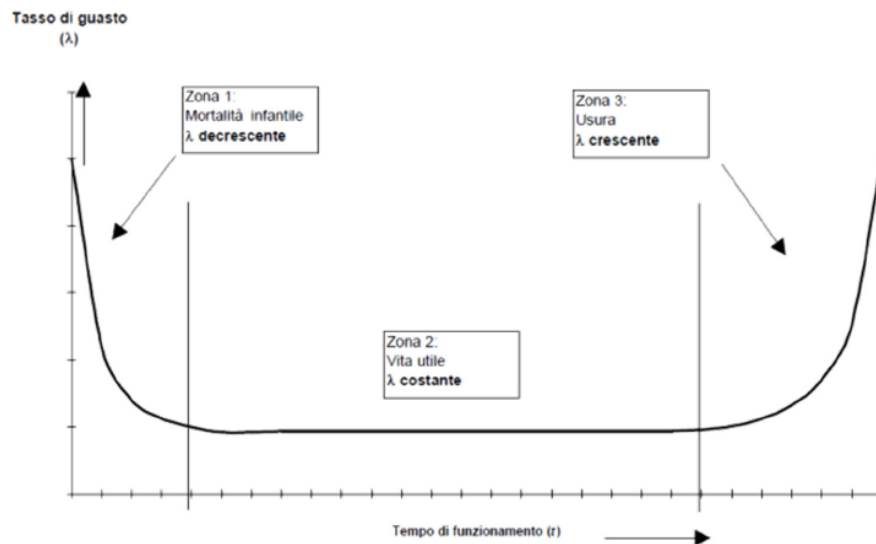


Figura 4.7 – Curva a vasca da bagno

La curva è valida per tutta la vita utile dell'apparato e si possono rilevare tre distinti periodi:

- Un periodo iniziale in cui la macchina è in “rodaggio”. I componenti cominciano a svolgere la loro funzione ed alcuni di essi, in genere difettosi, possono cedere in breve tempo. Questo periodo è chiamato *di mortalità infantile* e in esso $\lambda(t)$, inizialmente elevato, cala rapidamente (zona 1);
- Un periodo detto *di vita utile* o *di mortalità standard* (zona 2), in cui la macchina funziona a regime, i componenti sono assestati e gli operatori esperti all'uso. In questo periodo il tasso di guasto è costante e minimo (la macchina subisce guasti a periodi distanziati e regolari)
- Un'ultima fase (zona 3) in cui l'apparato è soggetto a fenomeni di usura derivanti dall'intenso utilizzo. Il tasso di guasto cresce (la macchina si guasta sempre più spesso) fintanto che risulta inutilizzabile.

L'effetto sul tasso di guasto dell'assestamento iniziale dei componenti è in genere tanto più ridotto quanto migliori ed accurate sono la progettazione e l'installazione della macchina e il livello di addestramento degli operatori, mentre l'effetto dell'usura è facilmente rilevabile a causa della tendenza in rapida crescita del numero di guasti in un fissato periodo di tempo.

La zona di maggiore interesse ai fini dell'affidabilità è quella riferibile al periodo di vita utile (2).

In questa zona, in cui $\lambda(t)$ si può assumere per semplicità costante, l'affidabilità può essere espressa con una legge esponenziale negativa del tipo:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (eq\ 4.3)$$

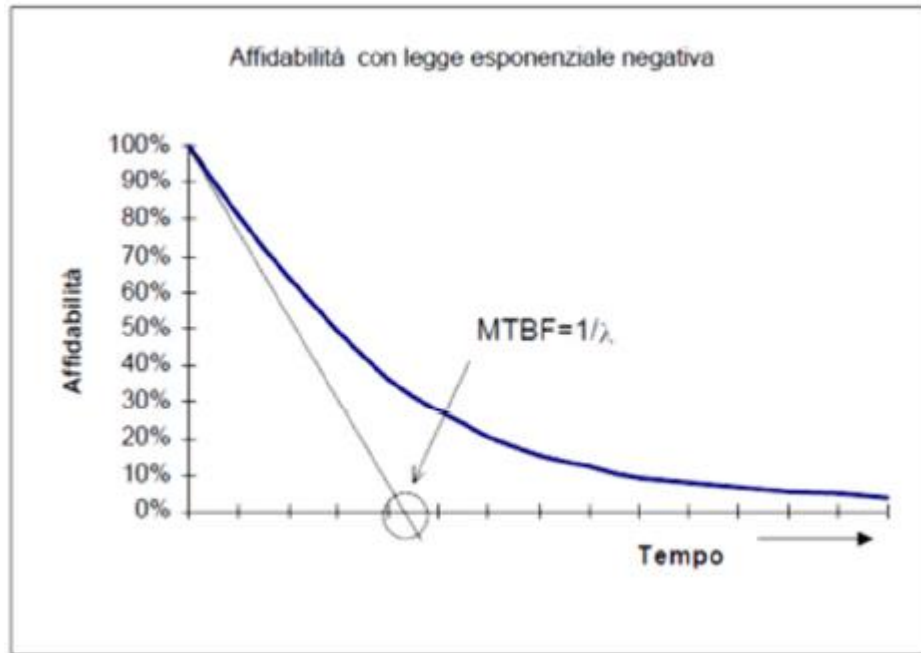


Figura 4.8 – Curva di affidabilità

Operando nella zona di vita utile e supponendo $\lambda(t)$ costante, l'MTBF assume un valore che coincide con l'inverso del tasso di guasto:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (eq\ 4.4)$$

L'importanza di quest'ultima relazione appare chiara se si considera che, nel corso della vita utile di una macchina, un valore tipicamente analitico e progettuale $\lambda(t)$ è correlato direttamente con un parametro operativo (MTBF). La costanza di λ implica infatti un valore medio dell'intervallo di tempo tra due guasti che anch'esso costante, con la diretta conseguenza che è possibile stimare con una certa precisione il momento in cui la macchina si guasterà in futuro.

Una progressiva diminuzione dell'MTBF, cioè una diminuzione dell'intervallo medio di buon funzionamento, è indicativa del raggiungimento del termine della vita utile dell'apparato (zona 3).

Per abbassare il tasso di guasto e quindi aumentare l'affidabilità e la disponibilità, si ricorre in genere a metodi *preventivi*, cioè ad una politica manutentiva che si basa su operazioni seguite ad intervalli di tempo programmati allo scopo di assicurare l'affidabilità e la disponibilità richieste prevenendo e contrastando il verificarsi del guasto.

La determinazione del corretto intervallo di intervento preventivo dipende proprio dall'andamento del tasso λ (e quindi dell'MTBF) nella zona di vita utile.

La robustezza e la capacità della macchina si deteriora nel tempo a causa di manutenzione non efficace, infatti i sistemi della macchina mostrano un incremento dello stress e degli sforzi.

La norma UNI 9910 definisce la *manutenibilità* come *l'attitudine di una entità, in assegnate condizioni di utilizzazione, a essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti.*

La manutenibilità è quindi una caratteristica della macchina che dipende però dalle condizioni in cui viene mantenuta. In queste condizioni sono compresi, oltre alle caratteristiche progettuali, anche tutti quei fattori che integrano la macchina nell'impianto in cui essa si trova, dalla posizione fisica nello stabilimento, all'accessibilità delle parti da riparare, al flusso di materiali e persone che la circondano abitualmente, ecc.

Esiste una relazione tra la quantità MTTR, tempo medio di riparazione (inteso come ritorno in servizio), che rappresenta in sintesi la manutenibilità della macchina, e la funzione affidabilità. Poiché si è visto che:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Allora MTTR dipende dal parametro disponibilità A.

Qualitativamente, si può vedere la relazione tra le grandezze in un grafico:

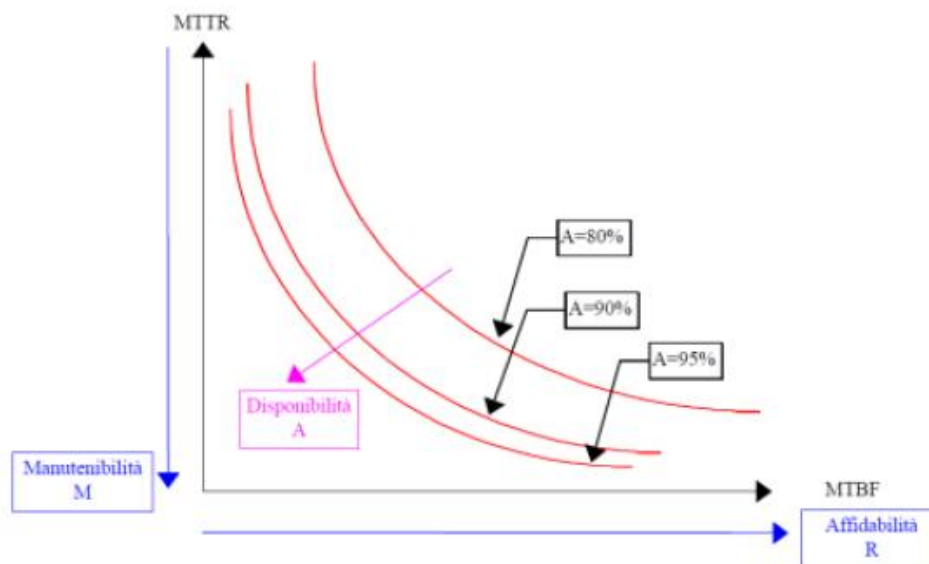


Figura 4.9 – Relazione tra manutenibilità, affidabilità e disponibilità

5. INGRANOMETRO AUTOMATICO

Le ruote dentate sono soggette a numerose ispezioni e controlli durante il processo di lavorazione. L'ingranometro è un dispositivo che attraverso la rotazione della ruota con un ingranaggio master, riesce a intercettare difetti ed errori presenti sull'ingranaggio in prova.

In particolare, l'ingranometro è una macchina automatica di misura, con movimentazione elettromeccanica e pneumatica, che esegue i seguenti controlli:

- Riconoscimento tipo pezzo.
- 4 controlli dimensionali e di forma.
- 3 controlli sulle caratteristiche della dentatura.
- 1 controllo funzionale per la verifica della corretta spuntatura.
- Marcatura a inchiostro dei pezzi buoni e dei pezzi di scarto.
- Selezione pezzi buoni e di scarto.

Le misure riguardanti le caratteristiche degli ingranaggi sono eseguite in regime dinamico mentre quelle dimensionali in regime statico.

5.1 Modalità di rilevazione difetti

L'ingranaggio master, tipicamente trattato al TiN, entra in contatto con la ruota dentata in modo che entrambi i fianchi dei denti in presa siano in contatto tra loro, in questa condizione il gioco tra i denti è pari a zero.

In direzione radiale agisce una forza, dovuta all'azione di una molla a compressione, che assicura il contatto simultaneo tra il fianco destro e sinistro dei denti in presa.



Figura 5.1 – Molla a compressione

Il risultato fornito dall'ingranometro si basa sulla forma che assume la curva di variazione d'interesse, durante un giro di rivoluzione completo del master.

Durante il giro di rivoluzione, se l'ingranaggio ha errori, il master si muove compiendo uno spostamento radiale, secondo la direzione delle frecce di Figura 5.2.

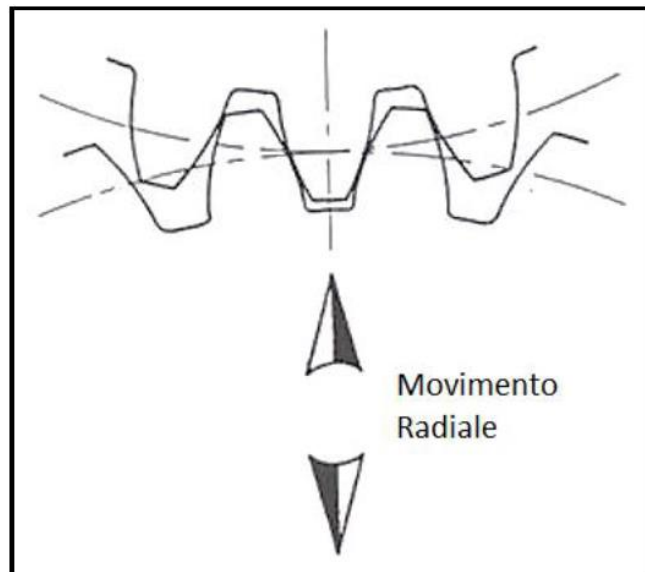


Figura 5.2 – Movimento radiale del master

Questo tipo di controllo può evidenziare tre tipologie di errori:

- Errori sull'interasse;
- Errori di eccentricità;
- Rilevazione dei colpi.

La Figura 5.3 mostra la composizione radiale dei parametri di deviazione che derivano dalla variazione dell'interasse durante il giro completo di rivoluzione dell'ingranaggio in prova, il grafico sinusoidale contiene due curve: una a bassa frequenza rappresenta l'eccentricità dell'ingranaggio, l'altra ad alta frequenza indica la qualità dell'ingranaggio.

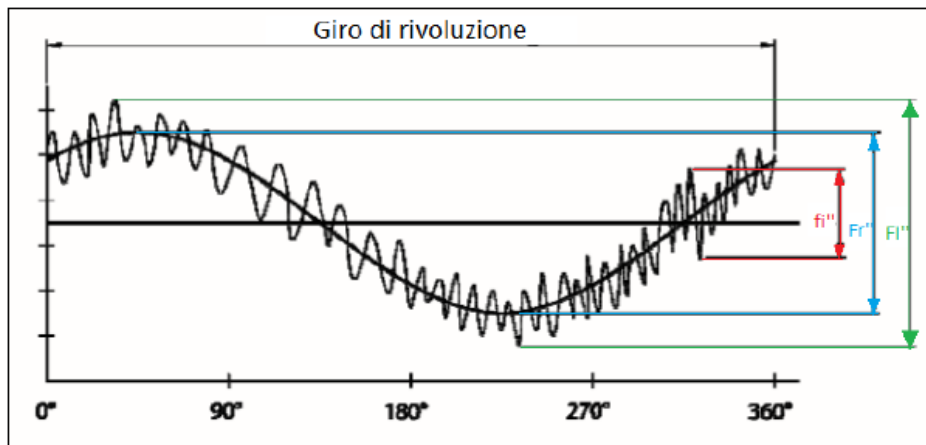


Figura 5.3 – Parametri rilevati dall'ingranometro

Parametri rilevati:

- *Errore di rotolamento bi-fianco (FI'')*: è la differenza tra il valore massimo ed il valore minimo dell'interasse per una rotazione completa. (DIN 3960)

- *Errore fra dente e dente (f_i'')*: è il valore massimo della variazione di interasse durante l'ingranamento di un dente entro l'angolo di rotazione corrispondente.
- *Errore di rotazione (Fr'')*: variazione radiale della sinusoide a bassa frequenza, rappresenta l'errore di eccentricità.

Quando nella zona di contatto si inserisce la deformazione di un colpo, la velocità di rotazione dell'ingranaggio è rapidamente variata e ciò si presenta sul diagramma di ingranamento come un picco più o meno ampio a seconda dell'ampiezza dell'ammaccatura, se questo valore supera un certo livello, significa che l'accelerazione istantanea è provocata da un colpo.

La soglia impostata per la delibera dei colpi da parte dell'ingranometro è pari a trenta micron.

6. ATTIVITÀ DI MANUTENZIONE

Lo scopo della manutenzione è quello di massimizzare l'OEE nel caso di una singola macchina e l'OLE nel caso di intere linee di produzione.

L'OEE è l'efficacia globale dell'impianto su un arco temporale definito e si calcola come prodotto di tre indici di efficienza:

$$OEE = (A \cdot P \cdot Q) \cdot 100 \quad (\text{eq 6.1})$$

Dove:

- A è la disponibilità della macchina;
- P è la performance della macchina;
- Q è la qualità del prodotto.

L'OEE può essere definito in termini di tempo (eq 6.2) o in termini di pezzi (eq 6.3):

$$OEE = \frac{T_{\text{tempo Ciclo}} \cdot N_{\text{pz prodotti buoni}}}{P_{\text{lanned Production Time}}} \cdot 100 = \frac{T_{\text{tempo per produrre pz buoni}}}{P_{\text{lanned Production Time}}} \cdot 100 \quad (\text{eq 6.2})$$

$$OEE = \frac{N_{\text{pz buoni}}}{P_{\text{lanned Production Time}}} \cdot 100 \quad (\text{eq 6.3})$$

Per *Tempo Ciclo*, a cui fanno riferimento le formule, viene considerato solo il tempo macchina, al netto di qualunque attività prevista a standard.

Per aumentare l'OEE, gli obiettivi del pilastro sono:

- Massimizzare l'affidabilità e la disponibilità delle macchine a costi economici.
- Eliminare le attività di interventi di manutenzione straordinaria.
- Raggiungere lo zero guasti (perdite) con la collaborazione degli addetti alla produzione (AM)

L'attività di manutenzione è stata condotta seguendo le linee guida della *Quality Maintenance* facendo riferimento anche agli step dell'*Autonomous Maintenance* e agli step della *Professional Maintenance*.

Con il termine *Quality Maintenance* s'intende l'approccio utilizzato per evitare che la macchina/equipment produca pezzi non conformi, nel nostro caso, trattandosi di una macchina di controllo, intendiamo l'approccio utilizzato per evitare che la macchina/equipment non filtri i pezzi non conformi.

Nel WCM la responsabilità d'applicazione della *Quality Maintenance* è a carico dei pilastri AM e PM, con l'interazione del pilastro QC.

L'approccio della QM è fatto in sette step come mostrato in figura 6.1.

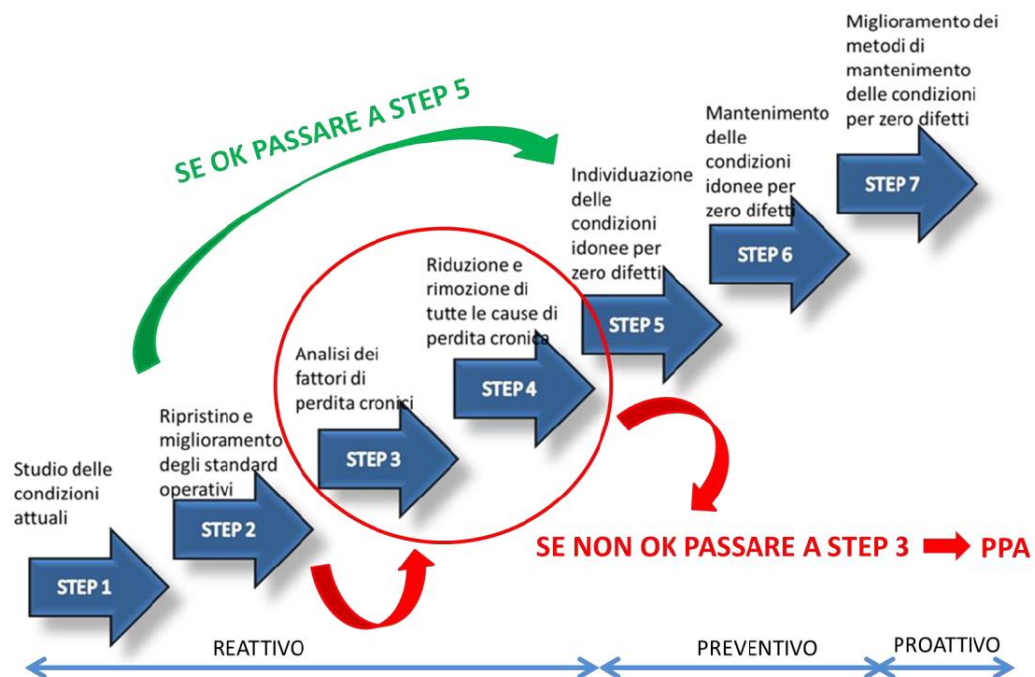


Figura 6.1 – I 7 step della Quality Maintenance

Step 1: Studio delle condizioni attuali

Consiste nel chiarire la relazione tra le caratteristiche di qualità, l'impianto e i metodi operativi di lavoro. Gli Strumenti normalmente utilizzati sono: QA Matrix, FMEA di processo.

La QA Matrix è utilizzata per:

- Dare priorità ai problemi qualitativi
- Comprendere la causa del problema secondo lo strumento delle 4M (Machine, Method, Material, Man), per identificare e pianificare le necessità di sviluppo e formazione
- Identificare le aree del plant nelle quali i difetti di qualità relativi a Machine, Method, Material e Man sono maggiormente concentrati
- Identificare i modi di difetto che stanno causando le maggiori criticità
- Definire le macchine prioritarie da attaccare con l'applicazione della *Quality Maintenance*.

La QA Matrix deve elencare le anomalie specificando, per ognuna di esse:

- Frequenza di accadimento
- Costi (MDO e Costo materiali)
- Rilevabilità (crescente dal riscontro in UTE fino al cliente): FTQ, ASSY, PULLS, WARRANTY
- Gravità (problema con impatto sulla Sicurezza, Funzionalità, ecc.)

Questi fattori, opportunamente moltiplicati tra loro, forniscono l'*indice di priorità* (IP) del problema e del processo a cui l'anomalia stessa è correlata.

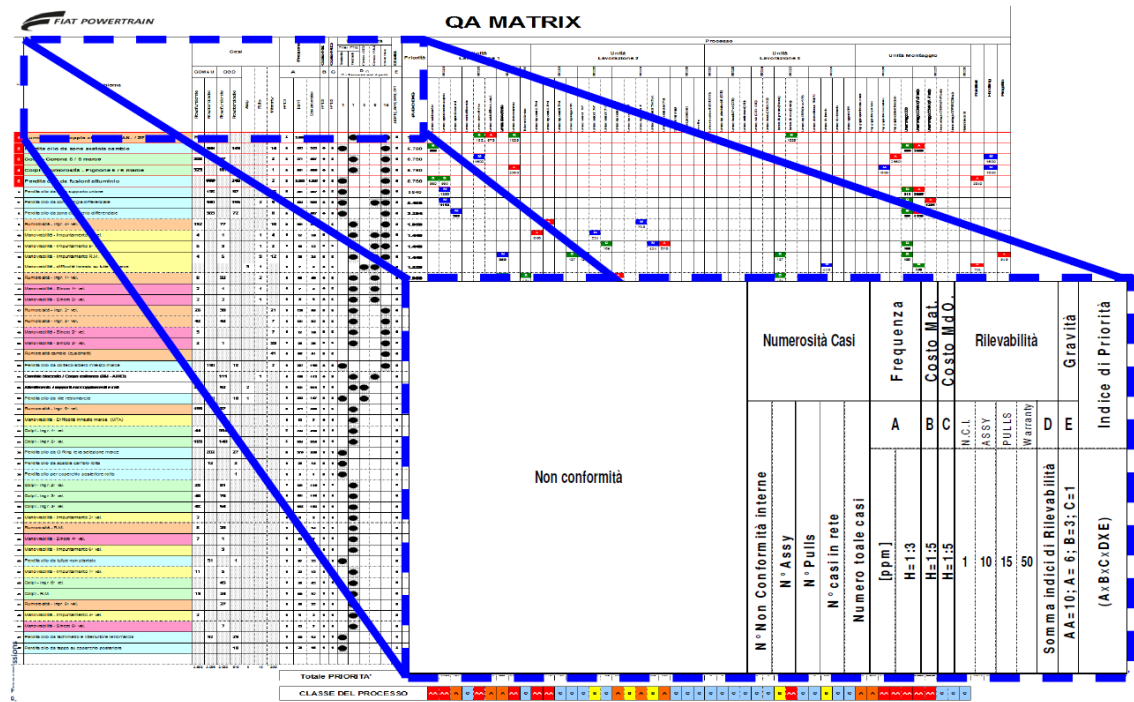


Figura 6.2 – Esempio di QA Matrix

Facendo riferimento alla figura 6.2, nelle prime due colonne (Non conformità e Numerosità di casi), devono essere inserite tutte le anomalie che provengono da:

- Indicatori esterni (Warranty, Pulls, Assy)
- Indicatori interni espresse in numero di casi
- Audit Forniture

Le altre colonne permettono di classificare i modi di difetto secondo i seguenti fattori:

- Frequenza anomalia (fattore A): il valore della frequenza è riportato in ppm (parti per milione) e classificato in 3 livelli, in modo che i range di classificazione comprendano tutta la gamma di indici di frequenza rilevati.
- Costo materiale (fattore B): è il costo del materiale del singolo prodotto e classificato in 5 livelli in modo che i range di classificazione comprendano tutta la gamma di costi sostenuti

- Costo manodopera (fattore C): è il costo della manodopera del singolo prodotto e classificato in 5 livelli in modo che i range di classificazione comprendano tutta la casistica in termini di tempo/costo.
- Rilevabilità (fattore D): gli indici di classificazione delle rilevabilità devono essere espressi seguendo il principio di associare un indice basso all'anomalia filtrata nello stabilimento fino ad arrivare all'anomalia riscontrata dal cliente finale, alla quale sarà assegnato un indice più alto: FTQ, ASSY, PULLS, WARRANTY. Nell'esempio mostrato in figura 6.2, l'indice varia da 1 a 50. L'indice di rilevabilità (fattore D) sarà quindi la somma dei vari indici riferiti alla stessa anomalia.
- Gravità (fattore E): l'indice di classificazione della gravità va attribuito in funzione dell'impatto del problema:
 - AA → Problema che provoca fermo vettura o concerne la sicurezza o comporta l'eventuale rifiuto della vettura da parte del cliente, a cui si attribuisce un indice pari a 10;
 - A → Problema che limita fortemente il cliente nell'utilizzo della vettura e condiziona l'eventuale riacquisto (es. funzionalità e comfort), a cui si attribuisce un indice pari a 6;
 - B → Problema che provoca forte disagio al cliente (es. estetico, assemblaggio, lavorabilità), a cui si attribuisce un indice pari a 3;
 - C → Problema non avvertibile dal cliente, a cui si attribuisce un indice pari a 1.

A questo punto occorre:

- Calcolare l'indice di priorità applicando la formula:

$$IP = Frequenza \cdot Costo Mat \cdot Costo Mdo \cdot Rilevabilità \cdot Gravità$$

$$= A \cdot B \cdot C \cdot D$$
- Analizzare le cause stimando la correlazione (Alta/Media/Bassa) tra problematiche e processi ripartendo l'IP in quote;
- Ordinare le problematiche inserite nella QA Matrix per indice di priorità decrescente;
- Definire la priorità in termini di problematiche e processi critici;
- Definire l'approccio da applicare basandosi sull'analisi delle 4M.

La macchina in esame si trova nella zona 1 della curva *a vasca da bagno*, ossia nel periodo iniziale in cui la macchina è in “rodaggio”. In questo periodo non si è ancora a conoscenza dei problemi qualitativi legati alla macchina, pertanto si potrebbe costruire la QA Matrix tenendo conto dei potenziali difetti emersi dalla FMEA di processo e di progetto.

La FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) è una metodologia utilizzata per analizzare le modalità di guasto o di difetto di un processo, prodotto o sistema, analizzarne le cause e valutare quali sono gli effetti sull'intero sistema/impianto. Nel nostro caso, l'analisi è eseguita preventivamente e quindi si basa su considerazioni teoriche e non sperimentali. Il primo passo da realizzare nella tecnica FMEA consiste nella scomposizione del processo, prodotto o sistema in esame in sottosistemi elementari. A questo punto, nell'analisi dei guasti di ogni sottosistema, occorre:

- elencare tutti i possibili modi di guasto, e per ciascuno:
- elencare tutte le possibili cause;
- elencare tutti i possibili effetti;
- elencare tutti i controlli in essere (a *prevenzione* o a *rilevamento* del modo di guasto).

Per tutte le combinazioni modo di guasto - causa si devono valutare tre fattori:

- P = probabilità di accadimento
- G = gravità dell'effetto
- R = possibilità di rilevamento da parte dei controlli (rilevabilità).

Ad ognuno dei tre fattori sarà assegnato un punteggio da 1 a 10, in cui (per le voci "P" e "G") 1 rappresenta la condizione di minimo rischio e 10 quella di massimo rischio (per la voce "R" minore è il punteggio - ad esempio 1 - maggiore è la possibilità di rilevamento del modo di guasto).

L'analisi sopra descritta permette di individuare i modi di guasto più critici mediante l'Indice di Priorità del Rischio (R P N):

$$RPN = P \cdot G \cdot R$$

Le azioni di miglioramento del prodotto, processo o sistema dovranno essere orientate principalmente sui modi di guasto che presentano i più alti valori di RPN. La FMEA può essere poi ripetuta a seguito delle azioni migliorative, per verificare se i valori di RPN sono diminuiti.

Step 2: Verifica degli standard operativi

In questa fase vi è una correlazione con le attività di AM e di PM.

Infatti, lo Step 1 della *Professional Maintenance (PM)* riguarda l'eliminazione del degrado forzato e prevenzione del degrado accelerato.

In questa fase è stato realizzato, con la collaborazione del Manufacturing Engineering e dei costruttori della macchina, il *machin ledger*.

Il *machin ledger* è uno strumento che coordina tutte le attività di PM pensando ad ogni componente della stessa.

Per capire tutte le possibili interazioni di funzionamento, e aumentare quindi la conoscenza dei manutentori, la macchina in esame va scomposta in 4 livelli:

1) macchina, 2) gruppo, 3) sottogruppo, 4) componente.

1) La macchina in esame è un ingranometro automatico. Tale macchina è stata progettata per eseguire il controllo ingranometrico di ingranaggi di 5^a e 6^a velocità. La macchina è stata progettata, inoltre, per essere inserita all'interno di un'isola robotizzata.

L'asservimento delle stazioni è gestito da due robot, all'interno dell'isola robotizzata. I robot, interconnessi con la logica della macchina, si occupano di depositare e prelevare i pezzi.

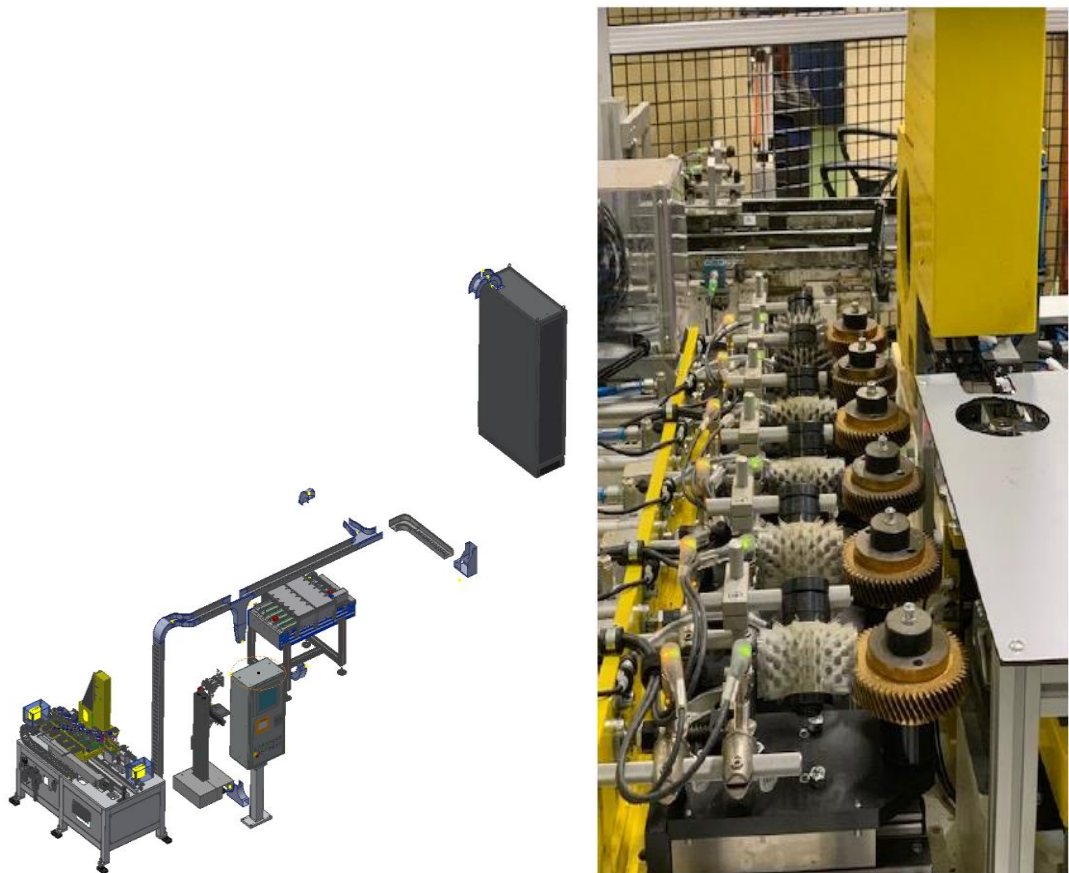


Figura 6.3 – Ingranometro automatico 5-6 vel.

2) Gruppo

- Gruppo Base

Il robot 1 dell'isola carica l'ingranaggio da controllare sul caricatore, pre-centrandolo sul diametro interno. Attraverso una slitta pneumatica verticale il caricatore scende abbandonando l'ingranaggio da controllare sull'ogiva di controllo.

Una volta che il caricatore ha depositato l'ingranaggio sull'ogiva, questa si porta all'altezza corretta a seconda che l'ingranaggio sia di 5a o 6a velocità. L'ogiva integra 4 cellule di misura per i rilevamenti previsti nel diametro interno.

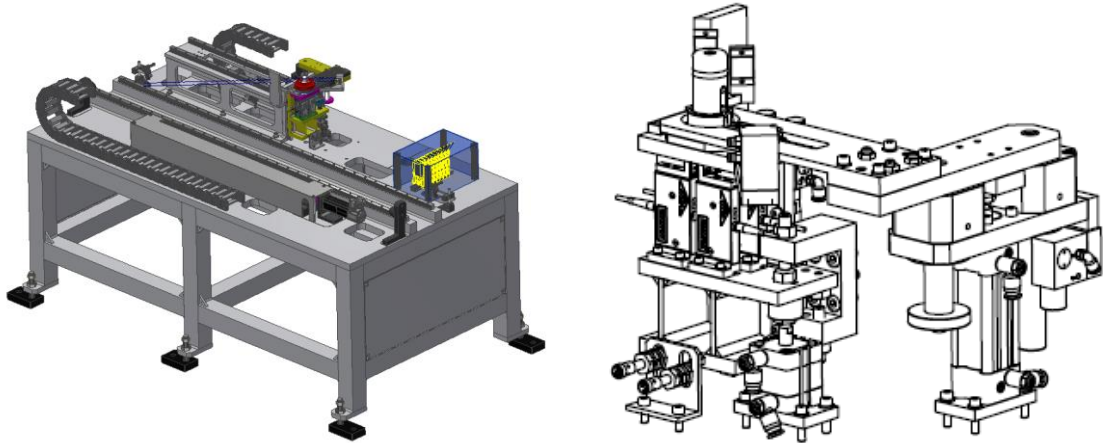


Figura 6.4 – Gruppo base

- Slitta di controllo e trascinamento coroncina

La slitta di controllo coroncina è costituita da una slitta ad inserimento pneumatico che si impegna sul pezzo in controllo e grazie ad una ruota a sfere motorizzata, contemporaneamente induce la rotazione dell'elemento e ne controlla la quota m (diametro medio) della coroncina.

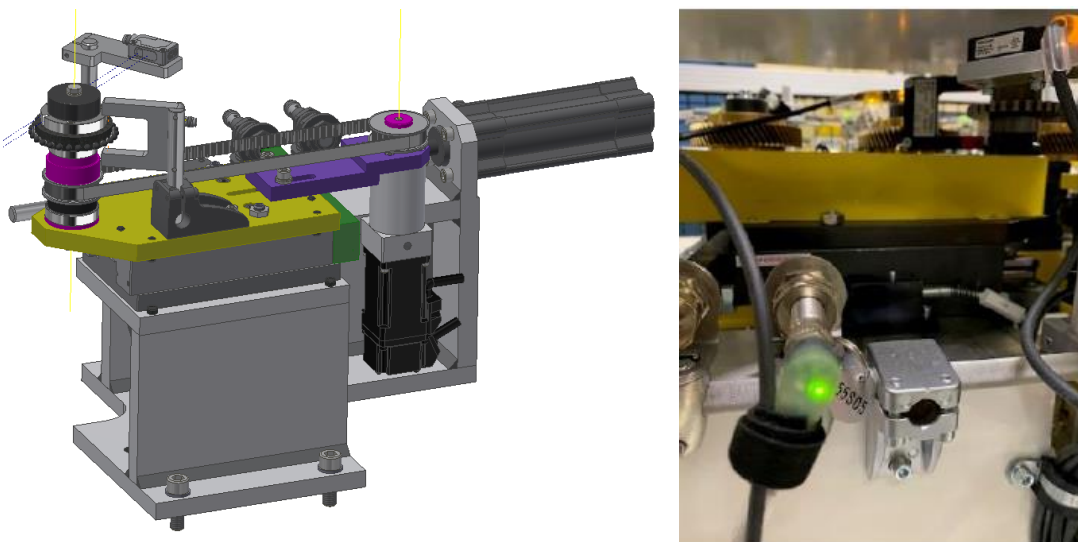


Figura 6.5 – Gruppo slitta di controllo e trascinamento coroncina

- Slitta route master

Questa slitta movimentata tramite una vite a chiocciola è dotata di 6 ruote master, a loro volta posizionate su delle slitte di precisione, che si impegnano di volta in volta sull'elemento in controllo.

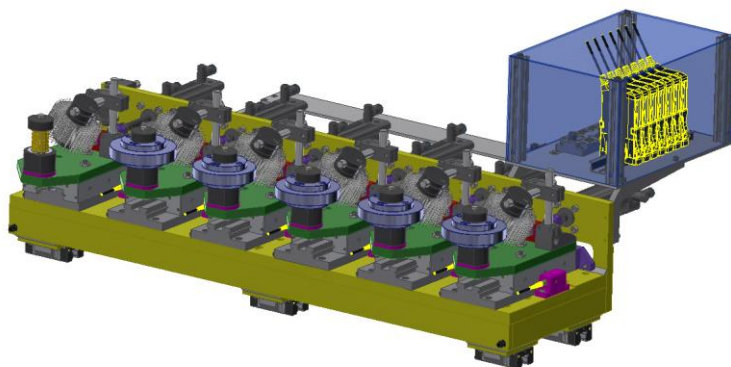


Figura 6.6 – Gruppo slitta ruote master

- Slitta misura dimensionale

La slitta dimensionale è dotata dei tastatori di misura che, a contatto esterno con il pezzo, restituiscono l'esito delle misurazioni previste a control plan. Sulla slitta è inoltre installato un *Vision System* per la verifica di presenza / assenza lavorazione di spuntatura sulla coroncina.

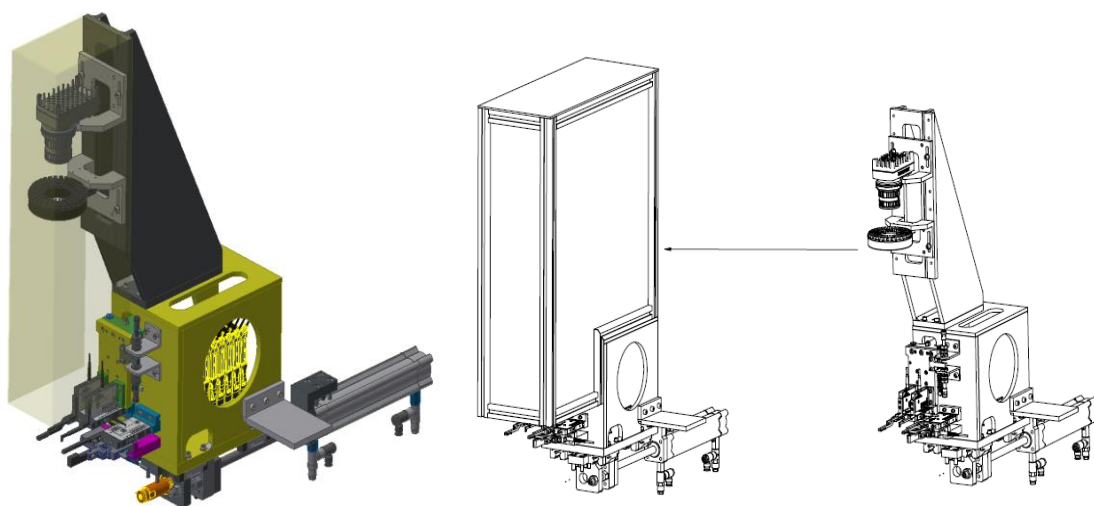


Figura 6.7 – Gruppo slitta misura dimensionale

- Gruppo marcatura

Il gruppo consiste in una slitta, sulla quale il robot deposita il pezzo da marcare, e in due meccanismi, azionati da cilindri pneumatici, che permettono a dei pennarelli di marcare un punto di vernice sul pezzo: giallo in caso di pezzo buono, bianco in caso di pezzo scarto per bolli.

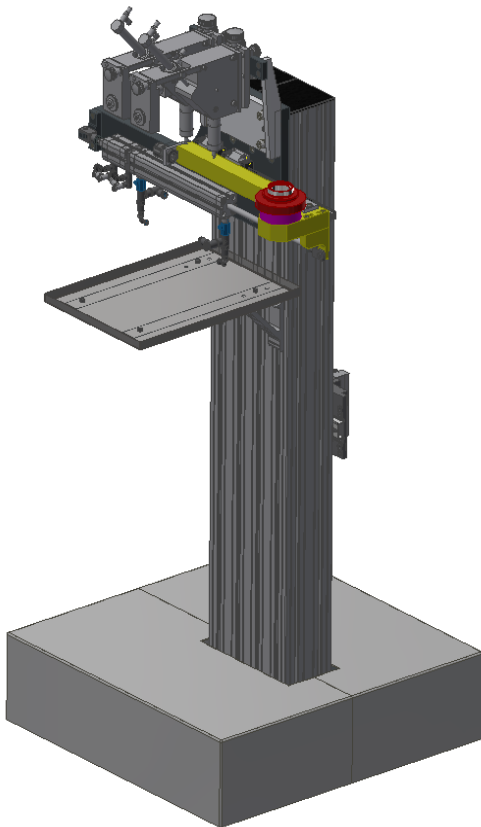


Figura 6.8 – Gruppo marcatura

- Convogliatore di scarico

Convogliatore a 6 piste sulla quale il robot può depositare gli elementi a seconda della programmazione eseguita sul pannello operatore.

Le 6 piste sono così suddivise:

- 3 piste per pezzi buoni
- 1 pista per pezzi scarto dimensionale
- 1 pista per pezzi scarto pezzi non riconosciuti o con bolli
- 1 pista, segregata, per pezzi scarto per spuntatura coroncina

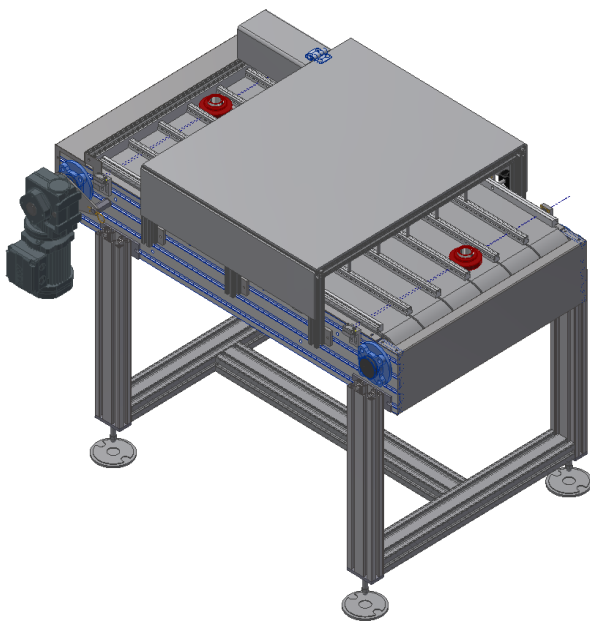


Figura 6.9 – Gruppo convogliatore di scarico

- 3) Ogni Gruppo è costituito da una parte meccanica, una parte pneumatica e una parte elettrica
- 4) Il componente può essere definito come il più piccolo elemento che può essere sostituito con un intervento di manutenzione.

Una volta identificato ogni singolo componente è necessario classificarlo secondo gli effetti che la rottura e/o il malfunzionamento dello stesso producono alla macchina. Il criterio di classificazione dei componenti è il seguente:

- Classe A: se la rottura del componente comporta la rottura di altri componenti o la rottura della macchina
- Classe B: se la rottura del componente provoca un impatto limitato
- Classe C: Se la rottura o il trattamento del componente non ha effetti sulla macchina a breve termine

A questo punto si procede con la compilazione del *machin ledger* con la veste grafica sotto riportata.

MACHINE LEDGER - Professional Maintenance		Machine Name: Ingranometro CTRL V-VI Velocità - 3013319				Creation date:	
		Start Date:				Revision date:	
		Supplier:					
Equipment	GROUP	SUB-GROUP	COMPONENT				Status
			photo	name	SAP code	Location in the warehouse	
Ingranometro CTRL V-VI Velocità	30113319_100 Gruppo Base	30113319_100 Gruppo Base Meccanica	1.1.1		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C1 STD001	S
			1.1.2		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	B -	S
			1.1.3		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C2 STD002	S
			1.1.4		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	B -	S
			1.1.5		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.6		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.7		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.8		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.9		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.10		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	C3 STD003	S
			1.1.11		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.12		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.13		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.14		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.15		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.16		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.17		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.18		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.19		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S
			1.1.20		30113319_100 Gruppo Base Meccanica	A -	S

Figura 6.10 – Machin Ledger

Infine, occorre allegare un calendario (solitamente di un anno) dove inserire, da questo momento in avanti, tutti gli eventi che accadranno e tutte le attività che la manutenzione farà su ogni singolo componente.

In questo step è previsto anche il ripristino del deterioramento e il mantenimento delle condizioni di base eliminando le fonti di deterioramento.

Infatti, Quando una macchina è trascurata, il degrado tende ad aumentare nel tempo, a diffondersi nell'area e ad agevolare l'insorgenza di guasti nei componenti adiacenti.

Situazioni di degrado fuori controllo possono comportare l'insorgenza di problemi concatenati.

Principale causa di degrado risulta essere lo sporco, che può causare:

- Guasti alla macchina;
- Difetti di qualità del prodotto;
- Accelerazione del degrado;
- Perdite di velocità.

Si distinguono due forme di degrado:

- Degrado naturale: normale deterioramento che avviene con uso corretto del macchinario e con regolari attività di manutenzione di base;
- Degrado accelerato o forzato: connesso a fattori umani con velocità di espansione decisamente superiore a quella del degrado naturale; risultato di attività di manutenzione trascurate quali la pulizia e la lubrificazione.

Queste attività passano attraverso il supporto di AM durante i suoi primi 3 step.

3. *Componenti macchina*: identificare le correlazioni tra il fenomeno fisico e i componenti macchina che le influenzano. Il livello di dettaglio dei componenti deve essere tale da individuare quei componenti, presenti sul *machin ledger*, sui quali è possibile eseguire una misura;
4. *Parametri macchina*: valori/range dei parametri macchina del componente che creano le condizioni adeguate per zero non conformità sulla macchina (standard macchina) e identificare le correlazioni con i componenti e la non conformità.

Seguendo le suddette indicazioni, abbiamo composto la X Matrix.

Figura 6.12 – X Matrix

Step 6: Mantenimento delle condizioni idonee per “zero difetti”

Definizione delle ispezioni periodiche da eseguire sui parametri in precedenza individuati (tolleranza rispetto al valore ideale, strumento di controllo, frequenza, esecutore, 5QFZD per ognuna delle ispezioni).

Lo strumento utilizzato è la QM Matrix.

La QM (*Quality Maintenance*) Matrix è una matrice che 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.

Il rispetto degli standard operativi per ciascuno dei parametri è condizione necessaria per l’ottenimento dello zero difetti, risulta quindi fondamentale misurarne la robustezza attraverso le 5 domande per zero difetti applicate alla macchina.

COMPONENTE / MACCHINA / LINEA	PARAMETRO (da QIMTR00)	SPECIFICA	SISTEMA DI CONTROLLO	FREQUENZA	RESPONSABILE
Unità lineare comando artificiale	Pressione d'aspirazione	3.04-4 Mpa	Mantenimento N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
	Corta di passaggio	30.203.25 mm	Verifica lineare N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
	Trattamento olio	Assenza perdite da sigili e accessori	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Cilindri pneumatici	Trattamento olio	LED spegni	Verifica al funzionamento N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Servomotore	Livello olio	MHI - livello - MAX	Verifica livello N° ciclo M30001PVV	3M	Team Speaker
	Pulizia BPI	Vivo	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Scambiatore di calore	Temperatura olio serbatoio	- 50° C	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
	Pressione d'aspirazione	7.58.5 Mpa	Verifica N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
	Temperatura	- 60° C	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Tubi all. in	Trattamento olio	Assenza perdite da recordi	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Pannello	Trattamento olio	Assenza perdite da recordi	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Giunto di pompa	Integrità	Assenza rotture	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
N° 2 cilindri	Pressione d'aspirazione	7.58.5 Mpa	Verifica N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
	Trattamento olio	Assenza perdite da sigili e accessori	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
	Pressione d'aspirazione	203.2 Mpa	Verifica N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
	Trattamento olio	Assenza perdite da recordi	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
	Pressione d'aspirazione	203.2 Mpa	Verifica N° ciclo P33201REZ	2M	Team Speaker
Sistema bloccante	Verifica livello N° ciclo C408001PVV	5.93.05 N° ciclo C408001PVV	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Puntalino di reazione	Altezza	0.010 mm	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker
Molla a compressione	Carico di lavoro	2025 N	Verifica N° ciclo C408001PVV	3M	Team Speaker

Figura 6.13 – Esempio QM Matrix

Occorre quindi migliorare le condizioni operative sino ad ottenere il livello di *Robustezza di Processo* tale da garantire “zero difetti” e questo va fatto per ogni punto di processo preso in considerazione.

Lo strumento di indagine per migliorare gli standard operativi di processo sono le 5 domande per zero difetti (applicate alla Macchina).

La condizione necessaria per condurre correttamente le *5 domande per 0 difetti* è quella di rispondere in maniera esaustiva alla prima domanda, “Le Condizioni sono chiare?”, in quanto se così non fosse non sarebbe possibile proseguire.

Ad ogni domanda è possibile assegnare un punteggio discreto di 1, 3 o 5 (rispondendo 5 a tutte e 5 le domande si ottiene un punteggio di 25 corrispondente al 100%).

Le domande si formulano partendo da una *fase 0* corrispondente agli standard operativi attuali e si valuta il punteggio raggiunto.

Ogni volta che le condizioni vengono migliorate a seguito di un’analisi, un’attività di *kaizen*, si passa ad una fase successiva e le domande vanno riformulate per verificare la situazione raggiunta (nuovo punteggio).

Nel nostro caso la *fase 1* riguarda la fase in cui la macchina era ancora in fase di progettazione, mentre la *fase 2* riguarda il periodo di “rodaggio” della macchina dove alcune condizioni sono state migliorate.

In questo modo ogni punto di processo può essere soggetto a più fasi di valutazione, nel tempo, in funzione delle attività di miglioramento effettuate

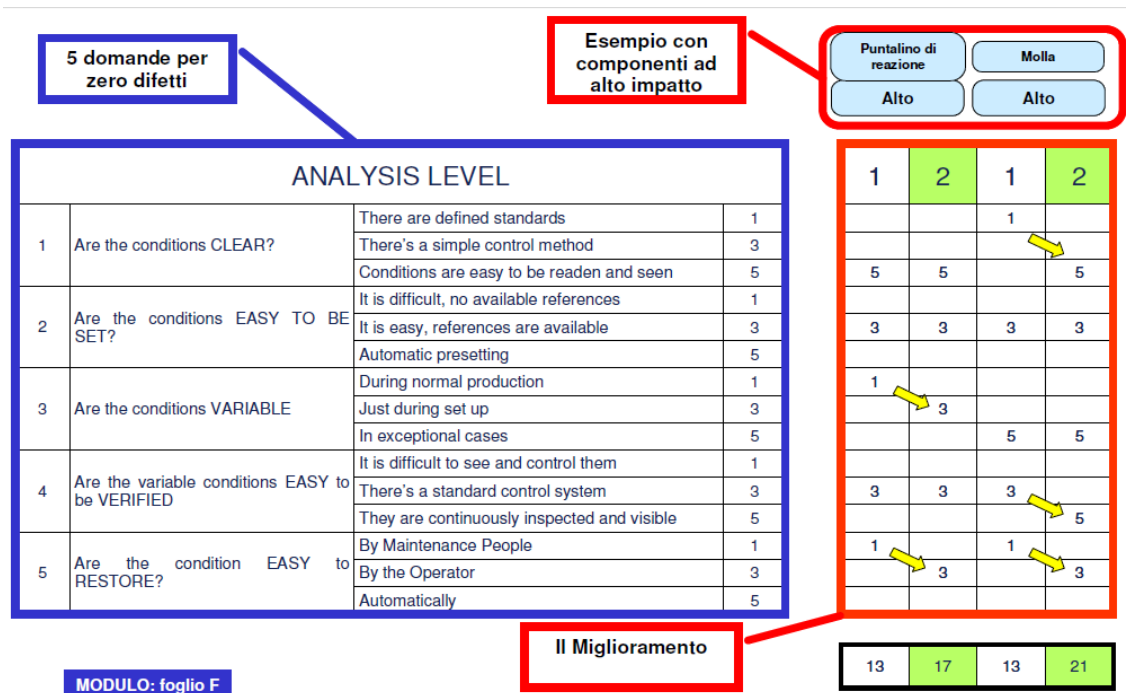
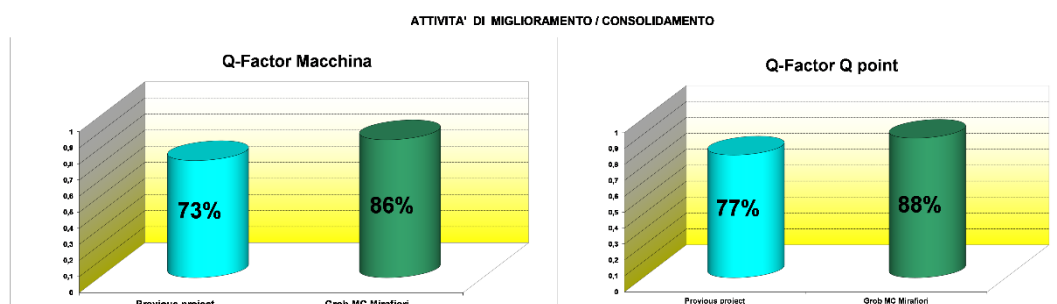


Figura 6.14 – Esempio di 5 domande per 0 difetti

[illegible]

I risultati ottenuti dalle 5 domande per zero difetti sono mostrati in figura 4.17.



Si nota come, grazie alle attività di miglioramento e consolidamento, rispetto alla fase di progetto, sia aumentata l'affidabilità dei controlli dei componenti più critici e in generale della macchina dal punto di vista qualitativo.

Per definire le ispezioni periodiche da eseguire, abbiamo seguito le linee guida dello step 3 della *Professional Maintenance*.

- Sostituzione;
- Lubrificazione;
- Ispezione;
- Settaggio e regolazione;

- Test (controlli ambientali e di sicurezza);
- Calibrazione;
- Revisione meccanica;
- Revisione elettrica;
- Revisione idraulica.

Le sostituzioni periodiche delle parti usurabili riguardano principalmente:

- motori e trasmissioni;
- cuscinetti;
- contatti elettrici;
- filtri olio e aria (coordinandosi con le attività di AM);
- cilindri pneumatici;
- cinghie di trasmissione;
- cappe aspiratrici;
- guide;
- componenti elettrici, fotocellule;

Generalmente, le attività di ispezione sono previste su impianti in esercizio utilizzando soprattutto i sensi; a tal proposito occorre utilizzare ispettori affidabili e, a loro supporto, *check-list* semplici.

Le attività di lubrificazione possono essere definite e standardizzate utilizzando uno schema grafico del componente/sottogruppo. Occorre identificare in modo chiaro sul disegno, i punti di lubrificazione.

I test si eseguono per verificare che gli impianti stiano operando nel rispetto delle specifiche di emissione e sicurezza; nello specifico si eseguono test su:

- Ripari e sicurezze dei robot;
- Sistemi automatici di arresto;
- Catene e funi dei discensori.

I test sui dispositivi di sicurezza sono sempre obbligatori.

Le procedure di calibrazione verificano l'accuratezza della misura dei sensori e dei parametri che possono influenzare le specifiche del prodotto; nello specifico si eseguono calibrazioni su:

- Encoder di posizione;
- Indicatori di flusso;
- Fine corsa;
- Sistemi di livello;
- Sensori di temperatura e umidità elettrici e meccanici.

Le attività di revisione meccanica, elettrica, idraulica hanno l'obiettivo di ripristinare il deterioramento dell'impianto.

Tali attività sono effettuate, generalmente durante i periodi di chiusura estiva e natalizia degli stabilimenti, dal fornitore dell'impianto o dalle squadre interne o esterne di manutenzione.

Spesso i costi di revisione sono elevati a causa delle operazioni di smontaggio e sostituzione dei componenti.

Le attività di revisione dovrebbero consentire l'identificazione delle attività che possono essere pianificate attraverso l'ispezione dei componenti usurabili, in modo da intervenire solo quando serve.

Tutte queste informazioni sono raccolte nella QM Matrix.

Step 7: Miglioramento dei metodi di mantenimento delle condizioni per zero difetti

L'obiettivo è il controllo rapido ed efficiente delle condizioni ottimali.

Infatti, secondo lo step 4 della *Professional Maintenance* è necessario condurre attività di miglioramento mirati per correggere le debolezze ed allungare la vita dei componenti. Per decidere su quale componente agire, in ottica di allungamento della vita utile, occorre assegnare le priorità a tutti i componenti a cui si applica una manutenzione preventiva.

A tale scopo, per ogni componente presente sul piano di manutenzione ciclica, si calcola il costo totale di manutenzione.

Tale costo deve essere calcolato su un periodo temporale definito (Δt), estrapolando la frequenza di intervento (F) e la durata di intervento (espressa in numero di ore uomo $N^{\circ}h_{uomo}$) direttamente dal piano di manutenzione ciclica.

Per ottenere il costo totale di manutenzione del componente occorre sommare il costo ricambio con il costo di manodopera.

$$C_{manutenzione} = C_{ricambi} + C_{manodopera} \quad (eq\ 6.4)$$

Considerato che il rapporto tra l'intervallo di tempo considerato Δt e la frequenza individuata F (espressi nella stessa unità di tempo) fornisce il numero di eventi di manutenzione.

$$N^{\circ}_{eventi} = \frac{\Delta t}{F} \quad (eq\ 6.5)$$

Il costo ricambio è dato dalla moltiplicazione del costo del componente moltiplicato per il numero di eventi nel periodo considerato:

$$C_{ricambi} = C_{componente} \cdot N^{\circ}_{eventi} \quad (eq\ 6.6)$$

Il costo di manodopera si ottiene come la moltiplicazione delle ore uomo necessarie per l'esecuzione dell'intervento per il costo orario della manodopera per il numero di interventi previsti nel periodo Δt .

$$C_{manodopera} = N^{\circ}_{h_{uomo}} \cdot C_{orario_{mod}} \cdot N^{\circ}_{eventi} \quad (eq\ 6.7)$$

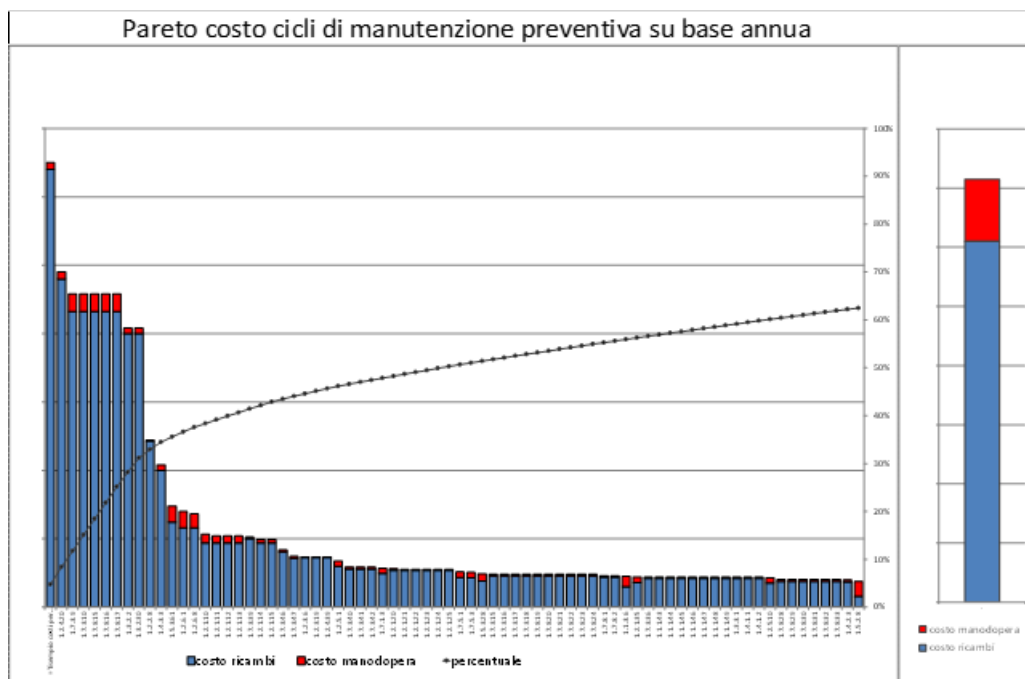


Figura 6.17 – Pareto dei costi di manutenzione su base annua dopo step 3 di PM

Una volta calcolati tutti i costi del componente (costo ricambi più costo manodopera) della macchina in oggetto, si partirà a lavorare sul componente che risulta avere il costo di manutenzione più elevato.

Per minimizzare la probabilità di guasto sul componente, e dunque allungarne la vita media, occorre intervenire con attività di miglioramento focalizzato in modo da irrobustire il componente aumentando le sollecitazioni ammesse a progetto (miglioramento focalizzato sul componente), oppure irrobustire il processo permettendo al componente di lavorare con sollecitazioni medie di lavoro più basse e dunque più lontane da quelle medie ammesse da progetto (miglioramento focalizzato sul processo).

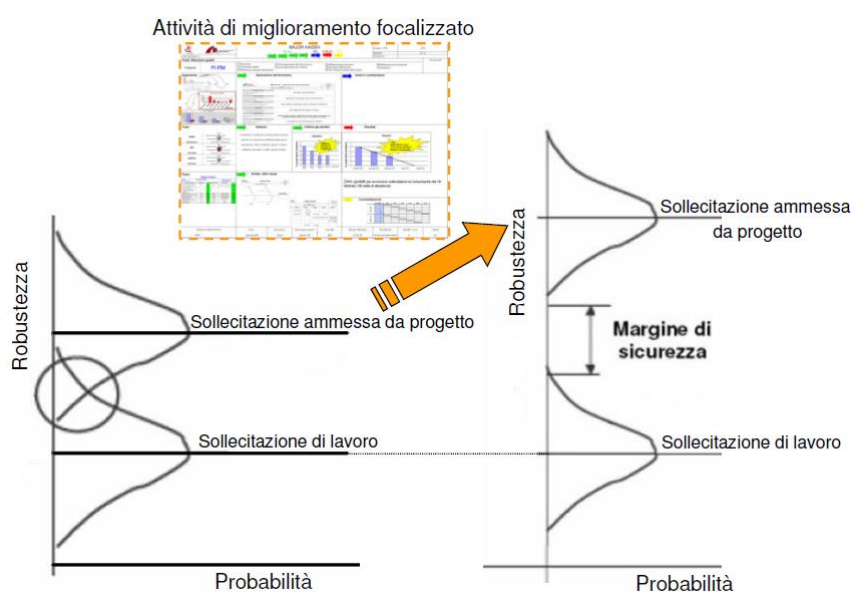


Figura 6.18 – Attività di miglioramento focalizzato sul componente

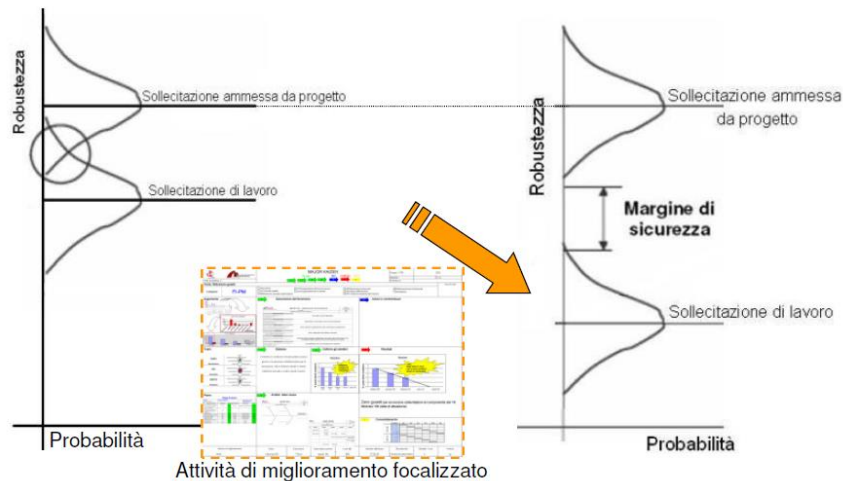


Figura 6.19 – Attività di miglioramento focalizzato sul processo

Il risultato atteso di un'attività di miglioramento focalizzato sul componente o sul processo è quello di allungare la vita media del componente con conseguente effetto sulla frequenza con cui le attività sul quel componente venivano eseguite. Questo processo a volte può richiedere anche parecchi anni.

Nello step 4 di PM la curva dei costi di manutenzione inverte il trend crescente tenuto nella fase reattiva (primi 3 step) e, grazie all'attività di allungamento della vita media dei componenti e quindi alla riduzione delle frequenze dei cicli, incomincia a decrescere.

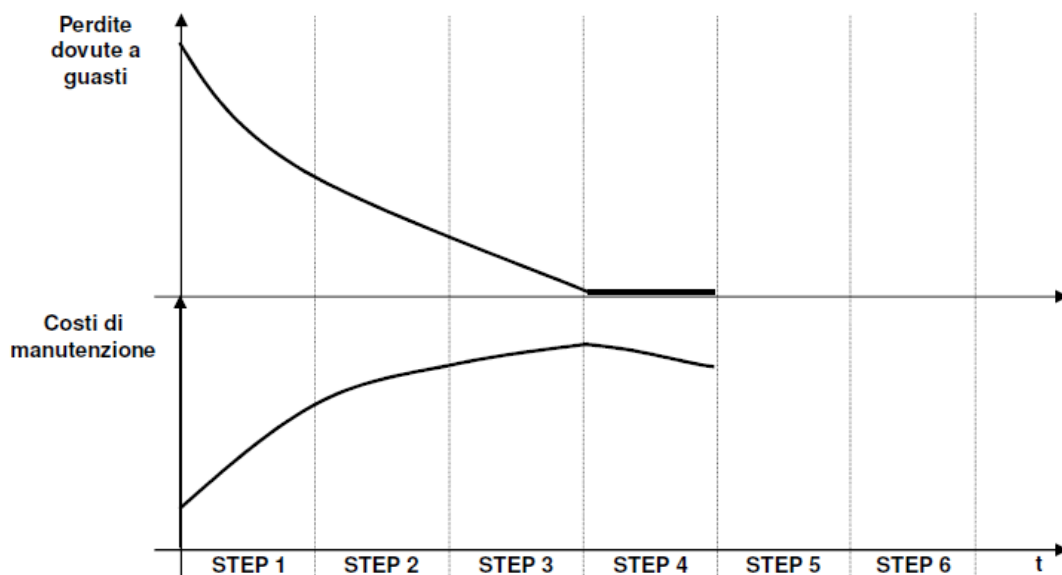


Figura 6.20 – Perdite dovute a guasti e costi di manutenzione fino allo step 4 di PM

Secondo il grafico in figura 6.17, il componente con costo di manutenzione più elevato è l'ogiva, seguito dall'invito, dalla punta tastatrice e dal tastatore.

L'ogiva e l'invito sono i componenti che rappresentano il primo contatto pezzo e sono soggetti ad elevata usura poiché il pezzo viene centrato mediante l'invito e calzato direttamente sull'ogiva.

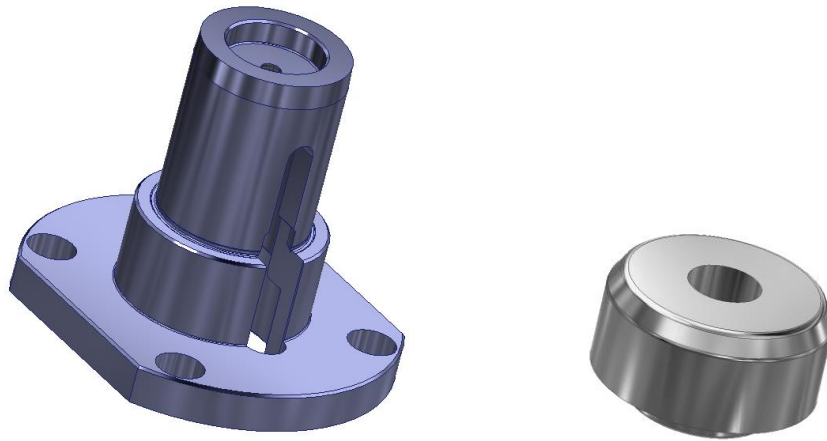


Figura 6.21 – Ogiva (a sinistra) e invito (a destra)

Le fonti di sporco possono provocare il degrado accelerato, quindi è necessario prevedere dei cicli di pulizia in modo da allungare la vita media dei due componenti, attività già prevista in fase di progettazione.

Per quanto riguarda il ciclo di ispezione, nella prima fase era affidato ad un operatore specializzato che, mediante l'utilizzo di un calibro tradizionale, andava a rilevare la misura del diametro dell'ogiva e dell'invito verificando che essa fosse all'interno del campo di tolleranza previsto dal costruttore della macchina.

Essendo questi due componenti molto importanti per la macchina in questione, in quanto un'elevata usura potrebbe provocare diametri troppo piccoli, fuori dal campo di tolleranza, con conseguente falsamento della misura, essi sono soggetti ad un *N°eventi* molto grande nell'arco di tempo considerato, ed essendo l'ispezione affidata ad operatori specializzati, il costo di manutenzione è molto elevato.

Per ridurre i tempi di ispezione e quindi aumentare l'efficienza della macchina (OEE) per questi due componenti sono stati progettati dei calibri a forchetta non passa utilizzati direttamente dai conduttori della macchina. Se l'invito e/o l'ogiva passa attraverso il calibro vuol dire che è usurato e bisogna sostituirlo.

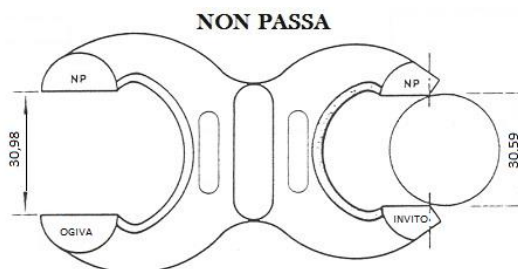


Figura 6.22 – Calibro a forchetta del tipo “non passa”

Quindi siamo passati da un ciclo di manutenzione professionale che richiedeva l'intervento di personale specializzato, ad un ciclo di manutenzione autonoma il cui compito è affidato direttamente al conduttore della macchina durante i cicli di pulizia.

La punta tastatrice fa parte del gruppo di misura costituito da: punta tastatrice, tastatore e parallelogramma di misura. La punta tastatrice a contatto con il pezzo, fissa la posizione del tastatore e attraverso il parallelogramma di misura viene inviato il segnale di misura. Lavorando nel campo dei micron, è chiaro che la polvere potrebbe falsare la misura, quindi anche in questo caso sono previsti, già in fase di progettazione, cicli di pulizia affidati direttamente al conduttore della macchina.



Figura 6.23 – Punta tastatrice (a sinistra), tastatore (al centro), parallelogramma di misura (a destra)

Essendo componenti molto delicati, è difficile prevedere cicli di ispezione per verificare l'integrità in quanto gli strumenti utilizzati potrebbero compromettere l'integrità degli stessi. Quindi nella prima fase (di progettazione) è stata data una vita utile a questi componenti e stabiliti dei cicli di sostituzione.

L'attività di miglioramento condotta in questo caso è stata quella di progettare e realizzare degli ingranaggi campione con misure predefinite in modo da tenere sotto controllo l'integrità dei componenti del gruppo di misura. Il conduttore all'inizio del proprio turno lascia passare questi ingranaggi campione attraverso la macchina e verifica che le misure effettuate dai tastatori corrispondano esattamente a quelle di progetto dell'ingranaggio campione.

Gli standard applicati fino a questo momento sono principalmente orientati alla misura del deterioramento (Equipment inspection standards), e alla prevenzione del deterioramento (Servicing standards).

Ma sappiamo bene che prevenire il deterioramento di tutti i componenti critici non è sempre fattibile e/o non è economicamente giustificato.

A questo punto, si inseriscono sul calendario tutte quelle attività (di revisione e non) orientate al ripristino periodico del deterioramento (*Repair standards*). Queste attività solitamente vengono fatte nei periodi non produttivi (fine settimana, festività, vacanze etc).

Quest'ultima attività ci consente di completare il sistema di manutenzione periodica della macchina.

Il passaggio di semplici attività ai conduttori della macchina consente di ridurre il carico di lavoro dei manutentori che potrebbe essere impegnato ad estendere le attività per la riduzione di guasti su altre macchine. Tutto questo deve essere fatto dopo un adeguato addestramento.

Nello step 5 di PM la curva dei costi di manutenzione, grazie all'attività precedentemente descritte, continua a decrescere.

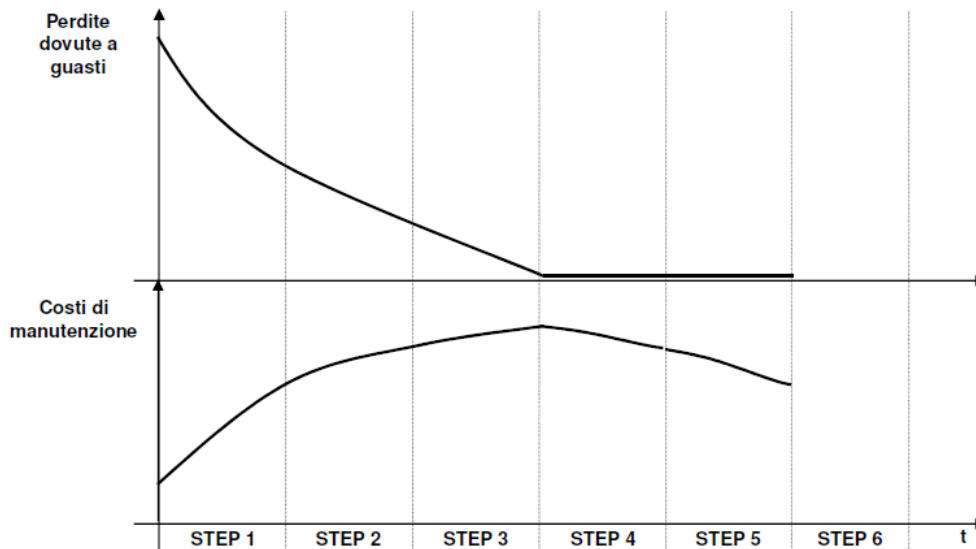


Figura 6.24 – Perdite dovute a guasti e costi di manutenzione fino allo step 5 di PM

L'obiettivo dello step 6 di PM invece è quello di costruire un sistema per la *manutenzione predittiva*.

La *manutenzione predittiva* è un tipo di manutenzione preventiva che viene effettuata a seguito dell'individuazione di uno o più parametri che vengono misurati ed estrapolati utilizzando appropriati modelli matematici allo scopo di individuare il tempo residuo prima della «failure» o del guasto. Riuscire ad individuare precocemente le anomalie incipienti consente una migliore gestione dell'esercizio e delle manutenzioni, evitando importanti ripercussioni di tipo economico ed ambientale. Per tale motivo, è necessario associare alle tradizionali pratiche manutentive nuove e più innovative strategie basate su azioni predittive. L'analisi dello stato di salute del macchinario consente, infatti, non solo di anticipare il verificarsi di un guasto, ma anche di indirizzare efficacemente le risorse di manutenzione là dove il macchinario lo richiede.

Uno dei fattori necessari per l'applicazione della manutenzione predittiva, come per la CBM, è la corretta scelta dello stressor, ossia di quel parametro da controllare per l'identificazione del deterioramento che porterà alla failure e/o al guasto.

Succede spesso, per evidenti impedimenti, che il deterioramento non è direttamente misurabile, per cui la scelta dello stressor è di fondamentale importanza.

Nel nostro caso, un cuscinetto danneggiato, un disallineamento, uno squilibrio provocheranno un aumento di vibrazioni (stressor), cioè si va a verificare l'usura con la misura delle vibrazioni, metodo indiretto.

Nelle tecniche di produzione e di processo, ogni macchina ha frequenze di funzionamento proprie. I cambiamenti di queste caratteristiche di funzionamento, provocati per esempio da squilibri inaccettabili o da deterioramenti dei cuscinetti, lasciano le loro tracce dinamiche.



Figura 6.25 – Cuscinetto combinato radiale e assiale a rullini per supporto linea margherita

Per far la predizione spesso si utilizzano speciali software che, sfruttando appropriati modelli matematici del trend, ci garantiscono un'alta sicurezza in quanto a tempo rimanente alla prossima failure.

Un'altra applicazione di manutenzione predittiva riguarda il tensionamento della cinghia di trasmissione che trasmette il moto dalla ruota conduttrice alla ruota condotta per la rotazione della margherita.

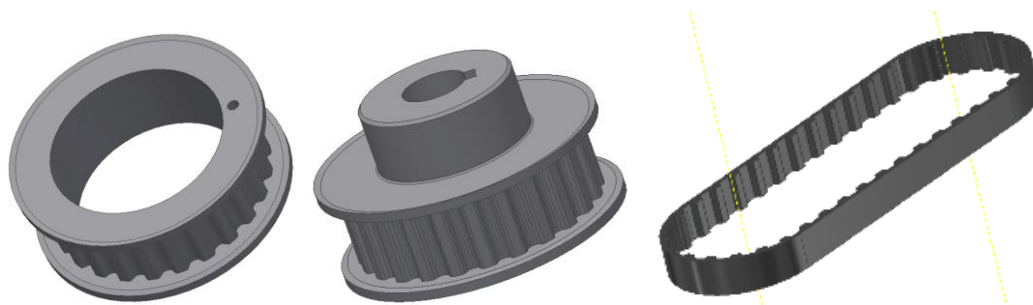


Figura 6.26 - Puleggia condotta, puleggia conduttrice e cinghia dentata

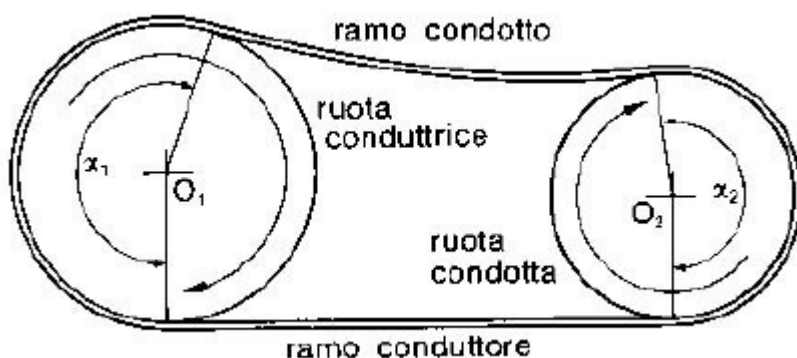


Figura 6.27 – Schema di funzionamento

Una cinghia di trasmissione raggiunge la sua massima vita di esercizio quando viene configurata correttamente alla sua applicazione, la cinghia è tensionata perfettamente e le pulegge sono perfettamente allineate e non usurate.

Nelle cinghie dentate un tensionamento corretto evita il salto del dente e lo strappo della cinghia aumentando la durata della cinghia e garantendo un risparmio energetico.

Il *misuratore di tensione* si rivela in questi casi uno strumento essenziale e pratico, capace di verificare manualmente ed in pochi istanti il corretto tensionamento delle cinghie.

Nelle manutenzioni, il misuratore assicura la perfetta tensionatura sostituendosi ad interpretazioni personali e teoriche al 90% oggetto di errori.



Figura 6.28 – Misuratore tensione cinghia dentata

Nello step 6 la curva dei costi di manutenzione, grazie allo sfruttamento ottimale della vita del componente e quindi alla riduzione delle frequenze dei cicli, continua a decrescere.

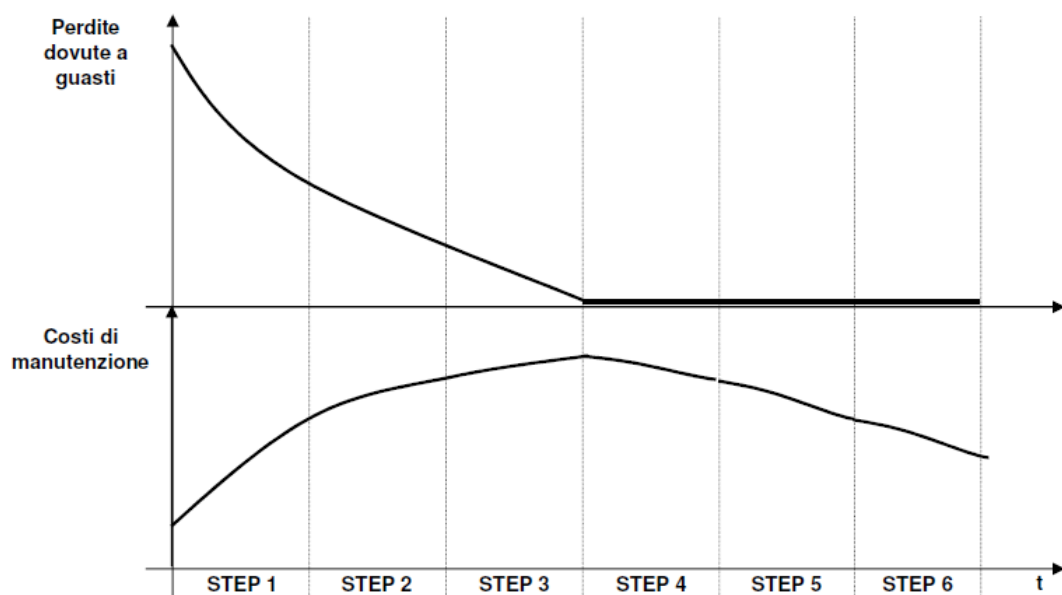


Figura 6.29 – Perdite dovuti a guasti e costi di manutenzione fino allo step 5 di PM

I risultati ottenuti in seguito allo step 7 sono mostrati in figura 4.31.

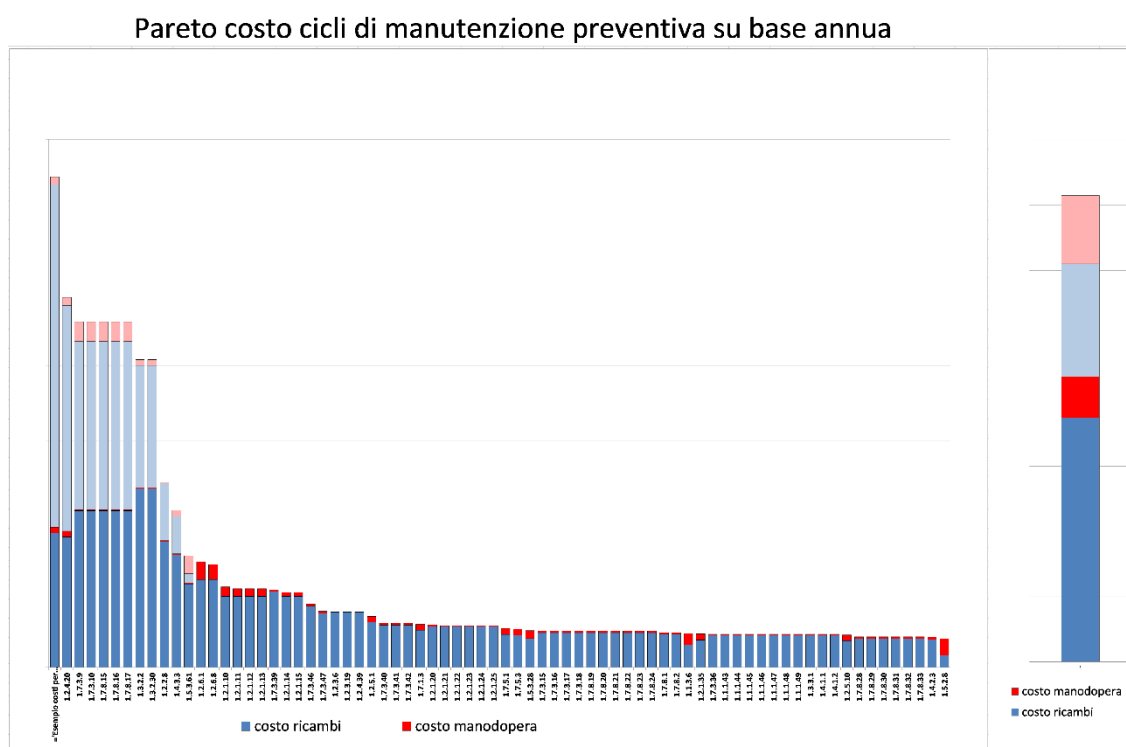


Figura 6.30 – Pareto costi di manutenzione dopo attività di miglioramento

Si nota come, grazie alle attività suddette, sia stato possibile diminuire i costi di manutenzione per quei componenti ad elevato impatto economico.

Conclusioni

Qualunque organizzazione finalizzata al mantenimento dei beni aziendali ha lo scopo di ridurre il costo globale di manutenzione, risultante dalla somma dei costi diretti e dei costi indiretti.

La manutenzione non deve essere vista unicamente come un sistema aziendale che costa, ma che ha anche un “valore” come fonte di risparmio dei costi conseguenti ai guasti che la manutenzione permette di evitare e come fattore d’incremento delle opportunità di profitto conseguenti ad un miglior funzionamento dell’entità. È opportuno perciò, nel valutare la manutenzione da un punto di vista economico, considerare non solo il costo delle risorse (materiali, attrezzature, personale) utilizzate per eseguirla, ma quantificare anche il valore che essa produce in termini di servizio erogato.

Quindi è sempre meglio valutare i costi con le prestazioni che si vogliono ottenere.



È necessario pianificare la manutenzione individuando, con il supporto delle funzioni specialistiche, dello storico dei risultati e/o in base alla classificazione, quegli impianti, quei mezzi, quei macchinari e quelle attrezzature, che inficiando il regolare svolgimento delle attività influenti le prestazioni produttive, qualitative, ambientali, di salute e sicurezza, sono da sottoporre ad interventi di manutenzione preventiva, rispettando il budget della manutenzione.

Il budget della manutenzione è la previsione economica delle attività di manutenzione che definisce i fabbisogni di manutenzione espressi, per un bene definito (macchina, apparecchiatura, impianto, bene immobile, stabilimento, strada, porto, laboratorio, ospedale, ecc.) in volumi di risorse (uomini, mezzi e materiali) e successivamente in costi. Il budget della manutenzione deve essere redatto nel rispetto delle specifiche di affidabilità, disponibilità, manutenibilità e sicurezza, per garantire la migliore qualità fornita dal servizio manutenzione.

Il budget è uno strumento di gestione necessario per il governo dell’impresa e per la definizione dei suoi obiettivi. Nella compilazione del budget occorre tenere conto dei

vincoli interni (livello di utilizzo del bene, disponibilità, orari di lavoro, ecc.) e dei vincoli esterni (mercato, leggi, normative ed adeguamento alle stesse) all'impresa.

Il budget di manutenzione deve essere elaborato per:

- consentire di raggiungere gli obiettivi prefissati (budget d'impresa), tenendo conto delle risorse disponibili e delle problematiche del territorio ove si opera;
- definire risorse e costi necessari.

Una volta definiti gli interventi e i costi di manutenzione necessari, i responsabili delle attività di manutenzione interessati predispongono su base annuale il *Programma Annuale di Manutenzione* in cui definiscono nel dettaglio gli interventi di manutenzione da eseguire per ogni impianto, mezzo, macchinario e attrezzatura.

Tale programma viene quindi divulgato a tutto il personale incaricato delle attività di manutenzione.

La parte operativa include logicamente l'esecuzione delle attività precedentemente programmate, queste devono essere supportate da idonei indicatori di performance in modo da valutare i risultati ottenuti e quindi la necessità di modificare gli interventi nella modalità e/o nella frequenza.

Tutte le esperienze di manutenzione, scaturite dalle attività fatte dal primo step in avanti, costituiscono un bagaglio d'esperienza che se ben utilizzato ci permette di non dover rifare le stesse attività anche su nuovi impianti.

Queste, come tutte le esperienze, portano benefici se formalizzate e implementate.

Bibliografia

1. *WCM book*, FCA-WCM Academy, 2012
2. *Problem Solving*, Wikipedia, https://it.wikipedia.org/wiki/Problem_solving [16/3/2020]
3. *ANSI AGMA 1012-G05 Gear Nomenclature*, techsciencenews: http://www.techsciencenews.com/referencetopics/Inv_timeline/timeline/gear.html [17/03/2020]
4. De Felice, F., Monfreda, S., & Petrillo, A. (2013). *Improving Operations Performance with World Class Manufacturing Technique: A Case in Automotive Industry*. Operations Management Prof. Massimiliano Schiraldi (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/54.
5. FMEA, Wikipedia, <https://it.wikipedia.org/wiki/FMEA>, [28/03/2020]
6. *Overview QC Activities*, FCA, 2013
7. *The 10 QC Viewpoints*, FCA, 2013
8. *Quality Assurance Activities*, FCA, 2013
9. *Quality Control of Design*, FCA, 2013
10. *QC OF MANUFACTURING: Machine*, FCA, 2013
11. *QC OF MANUFACTURING: Material*, FCA, 2013
12. Francesco Glorioso, *Linee Guida per il pilastro PM*, FCA, 2017
13. *Autonomous Maintenance Standard Book*, FCA, 2013
14. Feigenbaum, A. V., *Total Quality Control*, McGraw-Hill, 1961
15. ISO 1328-1. (2013, Gennaio 1). *Cylindrical gears - ISO system of flank tolerance classification*, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1328:-1:ed-2:v1:en> [10/03/2020]
16. Lean Manufacturing. (n.d.). *Lean Manufacturing powered by Chiarini & Associati*, www.leanmanufacturing.it, [25/03/2020]

17. Litvin, F. L., Vecchiato, D., Demenego, A., Karedes, E., Hansen, B., & Handschuh, R., *Design of One Stage Planetary Gear Train With Improved Conditions of Load Distribution and Reduced Transmission Errors*. 8, 2002
18. Sarefo, (2009, Giugno 10), Wikimedia, (v. W. By Sarefo (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or CC BY-SA 4.0-3.0-2.5-2.0-1.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0-3.0-2.5-2.0-1.0>)], Editor) <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AIssus.coleoptratus.1.jpg> [11/04/2020]
19. Shigley, J. E., Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2009). *Progetto e costruzione di Macchine* (II ed.). (D. Amodio, Ed.) Milano: McGraw Hill.
20. Wei, J., Sun, W., & Wang, L. (2011). Effects of flank deviation on load distributions for helical gear. *Journal of Mechanical Science and Technology*.
21. *Capability*, Mirafiori Powertrain, FCA
22. Sala analisi ingranaggi, Mirafiori Powertrain, FCA
23. Orsola Valentina Ponti, *Progetto di miglioramento qualità attraverso l'utilizzo di strumenti avanzati del WCM in Mirafiori Powertrain Plant*, FCA, 2019
24. Marica Nardiello, *Miglioramento indice FTQ nell'ambito del pilastro Quality Control in FCA*, FCA, 2018

Ringraziamenti

Giunto alla fine di questo percorso, mi sembra doveroso dedicare questo capitolo ai ringraziamenti.

Innanzitutto, vorrei ringraziare chi ha contribuito alla realizzazione di questo lavoro di tesi.

Pertanto, ringrazio il mio tutor accademico nonché relatrice di questo elaborato, Professoressa Francesca Maria Curà, per i suoi utili consigli ma soprattutto per la sua disponibilità nonostante i tanti impegni lavorativi.

Ringrazio il mio tutor aziendale, Ingegnere Matteo D'Antino, per i suoi insegnamenti e per avermi dato l'opportunità di svolgere l'attività di tirocinio e di tesi in una delle aziende più importanti del settore automotive.

Alla fine di questo percorso mi ritrovo con un amico inaspettato: pertanto un ringraziamento speciale va a Paolo Rognone. Grazie per avermi accolto. Grazie per essere stato oltre che un professore un vero e proprio mentore. Grazie per aver creduto in me giorno dopo giorno e avermi dato nuovi spunti di approfondimento. Grazie per il tempo che hai dedicato alla mia formazione facendomi crescere professionalmente. Grazie per avermi dato la possibilità di esprimermi e di aver dato coerenza al mio pensiero. I confronti, le discussioni, le riflessioni, gli scambi di idee sono un tesoro che porterò con me. Grazie.

Ringrazio tutti coloro che lavorano nell'ente Qualità di stabilimento Mirafiori Powertrain Plant per i suggerimenti e il supporto tecnico.

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori che mi hanno supportato sia economicamente ma soprattutto moralmente. Avete creduto in me anche quando non vi ho dato nessuna speranza. Mi ricordo la discussione con papà l'estate del 2015, dopo il pessimo primo anno universitario: consapevole dei problemi economici che ci affliggevano in quel periodo e visti i miei scarsi risultati volevo rinunciare agli studi in ingegneria, ma papà con il cuore in mano mi ha convinto a ritentare per un altro anno. Mi avete dato quella spinta, quando nessuno ci credeva, che oggi mi ha portato a conquistare con dolori e sacrifici il secondo titolo di laurea. Avete privato la vostra vita per dare un futuro alla mia e spero che siate orgogliosi di me come io lo sono di voi. Queste parole probabilmente non basteranno per descrivere tutto il bene che vi voglio. A voi devo tutto, GRAZIE!

A completare la famiglia c'è mia sorella Moira. Anche lei, quando tutto sembrava impossibile, ha creduto in me. Si preoccupava quando mi svegliavo alle 3 di mattina per studiare, consapevole che stavo per diventare pazzo. Lei e lo studio sono due cose distinte e separate, ecco perché mi considera un eroe. TI VOGLIO BENE!

Ringrazio i miei nonni che per me sono stati i secondi genitori. Voi inizialmente eravate contrari al mio trasferimento a Torino, mi conoscevate fin troppo bene e pensavate che il mio scopo non fosse lo studio ma il divertimento. Spero di avervi fatto ricredere e di aver dato anche a voi tante soddisfazioni. Grazie per aver messo a disposizione la vostra casa come luogo di festeggiamento rendendola ottimale e accogliente.

Ringrazio i miei zii per il supporto morale, spero che anche voi siate orgogliosi di me. In particolare, ringrazio mio zio Salvatore, il fratello maggiore che non ho mai avuto. Con lui siamo cresciuti assieme, condividevamo la stessa stanza e coltivavamo gli stessi hobby. Mi ha inculcato la passione per il calcio e per l'Inter.

Ringrazio la mia compagna di avventure Morena, insieme abbiamo affrontato il percorso universitario sostenendoci a vicenda. Grazie per essermi stata sempre vicino, per avermi sostenuto ed incoraggiato. Grazie per esserti occupata di me come una mamma: a differenza di altri studenti fuori sede, non mi hai mai fatto sentire la mancanza di un buon piatto e/o un buon dolce. Ottima cuoca, ottimo pasticciere, insomma da questo punto di vista non ho sentito la mancanza della mamma. I momenti trascorsi con te sono indimenticabili e spero che tutti i nostri desideri un giorno possano avverarsi.

Ringrazio Alessia per la pasta all'arrabbiata, il pollo con le patate e peperoni e i tanti dolci che sono stati la causa di qualche chilo di troppo.

Ringrazio Catia e Nuccio, genitori della mia ragazza, per avermi accolto come un figlio e per aver creduto nelle mie potenzialità. In particolare, vi voglio ringraziare per gli infiniti pacchi che avete spedito a Torino ma soprattutto per non avermi fatto mancare le delizie del *Bar degli Angeli*.

Ringrazio Attilio, collega universitario ma soprattutto grande amico, sempre pronto nel momento del bisogno. Con lui ho condiviso cinque anni della mia vita universitaria a "piangere" sempre prima di un esame. Questa era la nostra tecnica per passare gli esami a pieni voti: la nostra tipica frase era "*a questo esame ci accappoteremo*". Tutto questo mi mancherà!

Infine, ringrazio Mario, Vitaliano, Carlo, Lorenzo e Matteo e tutti i colleghi/amici di Torino, gli amici di Raffadali e di Agrigento.

GRAZIE A TUTTI!