

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

**WCM & Manutenzione 4.0. PoC, fattibilità della
Predictive Maintenance su un componente meccanico**



Relatore
Prof. Luca Iuliano

Candidato
Alessia Simone

Anno Accademico 2017/2018

A mia sorella Elisa

Indice

1	Sommario	6
2	WCM.....	9
2.1	Overview	9
2.2	Pilastri Tecnici.....	13
2.3	Phenomenon Description & Problem-Solving Techniques	23
2.4	Il Kaizen	27
2.5	Approccio di CNH Industrial al WCM	29
2.5.1	Risultati ottenuti, Report del 2017.....	30
2.5.2	Le novità, WCE (World Class Engineering) e WCL (World Class Logistics)	32
2.5.3	L'importanza dei suggerimenti.....	32
2.5.4	Formazione dei fornitori sul WCM	33
3	Focus sul pilastro tecnico PM.....	35
3.1	Tipi manutenzione.....	35
3.2	Classificazione delle macchine in Stabilimento.....	41
3.3	Definizione di guasti	43
4	Caso di studio: Evoluzione dello stato di degrado del componente meccanico.....	45
4.1	Stabilimento di Suzzara, CNH Industrial (Brand Iveco)	45
4.2	Componente meccanico: Conduttore flessibile.....	47
4.3	Operazione: saldatura per resistenza a punti (Robot OP60 R05 linea Mascherone)	49
4.4	Step 4 di PM, allungamento della vita utile riducendo gli stress	51
4.5	Step 6 di PM, monitoraggio della resistenza elettrica	56
4.6	Analisi dati e difficoltà di applicazione della Predictive Maintenance per questo componente	59
4.7	Progresso della manutenzione.....	67
4.7.1	Il paradigma Industria 4.0	67
4.7.2	Le strategie di modellazione e l'importanza dei sensori.....	72
4.7.3	Predictive Maintenance e Continuous Quality Control	78
4.7.4	Accostare il passato ed il presente, prerequisito della Manutenzione 4.0.....	80
4.7.5	La sicurezza informatica	82
5	Proof of Concept (PoC).....	83
5.1	<i>Maintenance Control Tower</i> , opportunità per la Predictive Maintenance.....	83
5.2	Approfondimento sul simulatore (MCT)	87

5.3	Proposta di progetto per il conduttore flessibile	90
6	Conclusioni	95
7	Bibliografia	97
8	Ringraziamenti	99

1 Sommario

Nel presente lavoro di Tesi Magistrale si propone la possibilità di cambiare il tipo di manutenzione effettuata su un componente meccanico, un conduttore di rame flessibile inserito nella struttura di un robot di saldatura a punti, situato nello Stabilimento di Suzzara, Gruppo CNH Industrial (Brand Iveco).

Lo studio si può collocare all'interno di un progetto di manutenzione del pilastro tecnico PM (Professional Maintenance) della struttura WCM (World Class Manufacturing). Questo sistema di gestione e di produzione ha apportato risultati notevoli in breve tempo; cambiamenti e progressi certificati negli Stabilimenti aderenti; progetti sempre migliorativi e coinvolgenti che generano innovazione, rigore delle metodologie, cooperazione, qualità di prodotto e processo, sicurezza, risparmi, migliorando sia aspetti propriamente tecnici ma anche manageriali. Suzzara, ad esempio, è uno Stabilimento "Silver", questo attesta l'elevato livello raggiunto e la padronanza degli strumenti del WCM.

Il tipo di manutenzione precedentemente applicata sul componente, oggetto di indagine, era una Time Based Maintenance (TBM). Si eseguiva una sostituzione basata su una schedulazione temporale e non considerando altre variabili che potevano avere una qualche incidenza come ad esempio: l'effettivo utilizzo; il carico di lavoro; cambiamenti operativi, etc. Il ripristino avveniva prima della completa obsolescenza del bene, lasciando non pochi dubbi agli operatori se effettivamente si poteva sfruttare ancora parte della vita residua. Componente critico e delicato allo stesso tempo, maggiormente sollecitato elettrodinamicamente durante l'utilizzo della macchina, da una distribuzione dei costi risulta la seconda perdita che incide maggiormente sui costi di manutenzione annuali del robot.

Si è pensato di analizzare inizialmente eventuali cause che potessero allungarne la vita utile, senza cambiare la tipologia di manutenzione. Attuando uno Step 4 del Pilastro Tecnico PM, che mira a ridurre le sollecitazioni esterne che possono causare un'anticipata e incontrollata usura di un bene, si è notato che il componente urtava contro il carter inferiore del robot. Una semplice ed economica modifica progettuale (un ribassamento del pannello sottostante), ha ridotto gli stress dovuti a cause esterne, e ne ha allungato la durata di 6 mesi.

Successivamente si è monitorato un parametro indicatore dello stato fisico del componente, la resistenza elettrica. Tramite un software di analisi saldatura (WQS) i valori di resistenza sono visibili in tempo reale ed è stato ipotizzato un valore critico, soglia di allarme, che denota uno stato in cui è consigliabile una rapida sostituzione. Si è passati dunque da una TBM ad una CBM (Condition Based Maintenance), ossia una manutenzione basata sul controllo di dati significativi. I valori registrati nel periodo di indagine (circa 5

mesi) sono tutti sotto la soglia di allarme, di conseguenza lasciano spazio solo a delle considerazioni e non interventi di manutenzione, stime che comunque destano alcune perplessità. L'andamento nel tempo dei valori di rilevati è decrescente, questo sembrerebbe essere in disaccordo alla seconda legge del fisico Ohm dove sezione resistente e resistenza elettrica sono invece inversamente proporzionali. L'aspettativa era notare, avanzando nel tempo, valori crescenti di resistenza. Inoltre, i dati raccolti sono influenzati da disturbi esterni, non direttamente imputabili al conduttore, ma nel periodo di studio si sono semplicemente susseguite attività manutentive su altri componenti del robot, probabilmente implicitamente fattori condizionanti di questo andamento anomalo. Infine, si notano "rumori di misura", ossia grandi oscillazioni tra misure consecutive.

Una società esterna è stata incaricata a studiare il fenomeno, modellarlo ed analizzarlo in maniera più precisa. CNH Industrial ha grandi idee per i Plant più progrediti, lo Stabilimento di Suzzara cercava da tempo interventi innovativi, in ottica manutenzione predittiva avanzata, ed in generale lo scopo futuro è di evolversi verso progetti strutturati che rientrino nel famoso paradigma "Industry 4.0" per sfruttarne i benefici ed essere ancora più competitivi sul mercato globale.

Visto il tema abbastanza ampio e le numerose tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0, si sposta l'attenzione solo sulla Manutenzione, dove si vorrebbe, per macchine cosiddette critiche, abbandonare una schedulazione temporale di intervento e intraprendere un moderno sistema di manutenzione, acquisire dati utili provenienti da sensori e utilizzarli in particolari algoritmi di analisi per valutazioni statistiche avanzate, integrando in un'unica piattaforma virtuale le stazioni operative monitorate. Combinando sistemi interconnessi di sensori-macchina-sistema (concetto di I-IoT), Machine Learning (mezzo attraverso il quale creare un modello virtuale e addestrarlo a predire una variabile desiderata), e Figure specializzate (Data Scientist), si potrebbero dare informazioni di qualità, previsione di guasti, diagnosi complesse.

La proposta di una Manutenzione 4.0, suggerita dalla società consulente, è stata quella di creare una "Maintenance Control Tower (MCT)": un simulatore multilivello dinamico in grado di gestire la linea di produzione e le difficoltà dell'attuale manutenzione fornendo un "gemello digitale", quindi ricreando un laboratorio virtuale dove si valutano diverse strategie e scenari diversi. Non da meno, anche la gestione delle scorte sarebbe più proficua. Per il conduttore flessibile l'intuizione in più è stata monitorare la resistenza, non in base alle misure raccolte su scala temporale ma, in base al numero di elettrodi sostituiti, per poi filtrare il segnale da disturbi esterni, e infine adottare un modello di Regressione (una sorta di semplificazione della realtà) e stimarne una vita residua (RUL) precisa. Lo studio non si è ancora concluso, lo svantaggio arrecato dal rumore di misura esterno persiste. Attualmente, un totale approccio innovativo sul conduttore flessibile non è attuabile nel breve termine e non può essere esteso ai robot simili, le limitazioni sono

dovute a carenze di comprensione dei fenomeni di disturbo e la non maturità della gestione dei dati. Comunque sia, un'analisi virtuale e l'utilizzo di un simulatore condurrebbe a miglioramenti nelle attuali unità operative dove vige una tradizionale manutenzione CBM.

2 WCM

2.1 Overview

Il WCM, acronimo di World Class Manufacturing, ha rivoluzionato il settore industriale e sta interessando le fabbriche Italiane del gruppo FCA, CNH Industrial da oltre 15 anni. Esso rappresenta un sistema di gestione che ha abbandonato il Fordismo del Novecento per dare spazio al Toyotismo importato dal Giappone.

Un programma strutturato per l'innovazione basato sul miglioramento continuo, sviluppato per eliminare ogni tipo di spreco e di perdita attraverso la rigorosa applicazione di specifici metodi e standard; un modello integrato per la coordinazione di tutti gli elementi di un'organizzazione, costruito per massimizzare tutte le componenti tecniche e organizzative e fronteggiare la competitività del mercato. Il WCM prende spunto dalle metodologie di produzione più efficienti, tra cui Total Quality Control (TQC), Total Productive Maintenance (TPM), Total Industrial Engineering (TIE) e Just In Time (JIT).



Figura 1: Nuovo logo e slogan presentato in occasione della World Wide Kaizen Convention in CNH Industrial, 24 Maggio 2018 Torino.

Una profonda trasformazione delle Aziende interessate, ha apportato prima di ogni cosa un cambiamento culturale, teorico e pratico, dove a cambiare e a migliorare sono state anche le relazioni industriali. Notevoli sono stati i risultati percepiti fin da subito. Infatti, il mutamento ha evidenziato pari attenzione alla *Qualità* della produzione ma anche del lavoro; l'attenzione verso i lavoratori, quali categorie coinvolte in primo piano, è stata predominante. Ad esempio, le misure adottate e gli standard da seguire hanno modificato dal punto di vista ergonomico la postazione di lavoro, la "*fatica fisica*" si è ridotta al minimo, ed il dato importante stimato da vari studi periodici interni è che gli incidenti sul lavoro sono stati quasi azzerati.

Alla base di tale successo sicuramente le innovazioni introdotte dal metodo WCM. Tra queste spicca il lavoro in team, si percepisce il valore della collaborazione tra lavoratori

riuniti in piccole unità operative, solitamente formate da circa 6 unità coordinate da un Team Leader, dove egli stesso è un operaio con competenze maturate, specialistiche e trasversali. Il lavoro di gruppo sviluppa capacità collaborative: scambio di idee, suggerimenti; monitoraggio continuo di parametri e risultati quantificabili; è opportunità di cambiamenti, nuovi progetti, attuabili sul campo e da estendere su più aree; è avere visioni comuni di qualità e produzione. Attraverso tutto questo, la conoscenza implicita diventa esplicita e codificata, e successivamente incorporata nei nuovi prodotti, nei nuovi servizi e nei nuovi modi di lavorare.

Un addetto dello stabilimento di Pomigliano del Gruppo FCA, durante un'intervista, raccontava di lavorare in ambienti cupi, sporchi, piccoli, ora svolge le sue mansioni in luoghi totalmente diversi, luminosi, puliti, dove si sente integrato in un progetto rilevante e non valutato solo come un semplice operatore. La fabbrica in questione è un esempio di rinascita secondo un piano di rinnovamento di tutti gli aspetti ed espansione mirata, infatti è medaglia d'oro in termini di WCM, a livello mondiale risulta uno tra i migliori stabilimenti del gruppo con picchi produttivi positivi e con un clima di complicità e condivisione palpabile [1].

Riduzione degli sprechi e miglioramento continuo sono lo slogan del rivoluzionario modello che ha potenziato anche la relazione con i sindacati ed il sistema retributivo, infatti non vi è solo un risultato simbolico ma anche un premio in denaro per i dipendenti dei siti migliori per i risultati raggiunti.

Le performance di stabilimento vengono monitorate. Non basta applicare il metodo ma il tutto deve essere quantificabile, per cui non devono mancare indicatori fondamentali quali: KAI, ossia Key Activity Indicator (misura ritmo e rigore) e KPI, ovvero Key Performance Indicator (valuta i risultati). Infatti, una delle caratteristiche principali del programma WCM è la connessione diretta tra un'attività o un progetto ed il suo costo e i suoi benefici. Si valuta la fattibilità del progetto, si certificano i risultati ottenuti monitorando attentamente specifici indicatori di prestazione. Un tale approccio garantisce che il processo di valutazione delle iniziative sia realmente efficace, in quanto misura e mette in correlazione tutti i fattori interessati dall'iniziativa stessa.

L'organizzazione centrale WCM ha bisogno di "segnali" per supportare la Produzione a livello locale e lo sviluppo generale del WCM da un punto di vista Regionale e Globale, per cui si serve di: Sviluppo e Diffusione delle Conoscenze; Managing Audit system.

Per Sviluppo e Diffusione delle Conoscenze si intende che l'ente Centrale incaricato deve:

- Stabilire le priorità per ogni pilastro tecnico (significato e quali sono i pilastri tecnici nel Paragrafo 2.2);
- Creare nuove competenze/conoscenze;

- Sviluppare nuovi Standard e creare nuovo materiale in linea con le esigenze dell’Azienda;
- Migliorare gli attuali sistemi e strumenti a seconda delle esigenze dei vari Plant, considerando la loro diversità e i volumi produttivi;
- Mappare le esigenze di training e workshop;
- Assicurare un efficace trasferimento di nozioni verso i Plant e all’interno dei Plant (monitorabili e misurabili).

Per Managing Audit System si intende che un Team Centrale deve essere organizzato per supportare Audit e Review (2 Audit + 2 Review ogni anno per ciascun Stabilimento). Questi servono a verificare: leadership e impegno; allineamento alla “Roadmap”; uso rigoroso di metodi e strumenti; risultati.

Dunque, il rigore metodologico di impostazione del WCM e la sua applicazione in maniera corretta, vengono valutate periodicamente attraverso *Audit* interni (Review) ed esterni (stimati dai competitor del gruppo) che portano al riconoscimento di punti che si vanno a sommare o sottrarre ad un medagliere/indicatore chiamato *Methodology Implementation Index (MII)*. Si determina un risultato complessivo dello stabilimento decretato come bronzo, argento, oro o World Class. Il Bronzo attesta: l’esistenza di condizioni di base per una produzione competitiva; una corretta applicazione del metodo; un approccio reattivo; la corretta identificazione di guasti e perdite; risultati significativi. L’Argento testimonia: risultati sostanziali su sicurezza, qualità, costi e consegna; una diffusa competenza nel processo di produzione; una sostanziale riduzione dei costi (dall’inizio del WCM); l’avvio di un approccio preventivo e un suo principio di espansione alla fabbrica completa; la ricerca sempre più dettagliata delle perdite e un aumento del numero di strumenti di indagine. Il Gold: lo Stabilimento inizia ad essere un leader nei benchmark esterni su alcuni indicatori di KPI; si ha un livello eccezionale di riduzione dei costi dall’inizio di applicazione del metodo; si ha un buon livello di approccio proattivo e apprezzabili risultati. Il World Class: ha livelli di eccellenza su vari indicatori; riconoscimenti attraverso parametri di riferimento esterni; livello di competitività a livello mondiale, anche rispetto ai concorrenti.

La valutazione è organizzata in 6 livelli (0-5). Il livello 0 è attribuito ad attività non iniziate o che non hanno mostrato risultati o una corretta applicazione. Il livello 1-5 certifica la corretta implementazione dei “tools” e del metodo e si valuta nel modo seguente: Livello 1 = 1 punto; Livello 2 = 2 punti; Livello 3 = 3 punti; Livello 4 = 4 punti; Livello 5 = 5 punti.

Per progredire e orientare i risultati a elogi sempre maggiori la formazione è essenziale, l’attenzione deve essere rivolta a tutti ed in tutti i settori. Se si segue tale strada l’eccellenza riconosciuta e certificata, che crea vantaggio competitivo sui competitor è vicina.

Portavoce di tale trasformazione, che si potrebbe definire una vera onda innovatrice, è stato il Giapponese Hajime Yamashina chiamato nel 2005 dall'amministratore delegato Sergio Marchionne. Yamashina ha fatto conoscere ed ha insegnato il nuovo modello produttivo.

Da una ricerca dal titolo "*Le persone e la fabbrica*" [2], [3] rivolta ai lavoratori degli stabilimenti italiani del gruppo FCA e CNH Industrial, sono emerse considerazioni importanti dopo pochi anni di applicazione della metodologia. Valutatori dell'inchiesta un comitato composto dal Politecnico di Torino e Milano. I risultati dell'indagine mostrano come viene percepito il cambiamento e come valutato dai dipendenti, i dati positivi sono molti ma non mancano le note negative da sottolineare. Aspetti positivi sicuramente riguardano: la salute, la sicurezza, l'ordine e pulizia, la partecipazione, la voglia di suggerire, la formazione sulla metodologia soddisfacente, la ridotta fatica fisica, la qualità del prodotto finale e le prestazioni complessive. Questi fattori decretano secondo la visione di chi lavora in fabbrica un luogo da consigliare come posto di lavoro. Gli aspetti poco chiari risultano essere: la scarsa rotazione, cosiddetta "*job rotation*"; gli alti stress cognitivi dati dalle moderne tecnologie e dall'ergonomia, che limita sì la fatica, ma riduce anche al minimo i tempi morti, intesi dal lavoratore a volte come "tempo libero" per muoversi in autonomia per prendere quel determinato componente o utensile; in alcuni casi poca soddisfazione sul feed-back dai suggerimenti dati; un sistema dei premi in denaro ancora poco adeguato allo sforzo applicato.

Comunque sia i risultati sono tangibili, dal lancio, alla diffusione, alla fondazione di nuove fabbriche, sono stati scombinati di certo equilibri, poiché prima di tutto il WCM deve essere correttamente conosciuto e metabolizzato prima di essere applicato ed insegnato, ma il livello di eccellenza raggiunto in tanti casi certificati ha decretato tale metodo come la strada giusta sulla quale continuare.

Unire ed organizzare, dare spazio ai lavoratori e soprattutto agli operai considerandoli come fonte essenziale di suggerimenti utili, affrontare i problemi e le criticità, anzi dotarsi delle tecnologie adatte per prevenirli, è essenziale per un sistema tecnologicamente all'avanguardia e che vuole essere competitivo sul mercato internazionale industriale, ormai potremmo definire spietato. La possibilità di potenziare i sistemi di gestione della produzione; affinando e migliorando caratteristiche quali l'affidabilità, la qualità, la flessibilità, si riflette positivamente sulla competitività. L'efficienza di qualsiasi organizzazione, a prescindere dalla sua dimensione, dipende per lo più dal livello di pianificazione e dall'uso dei moderni strumenti di supporto utili ai sistemi di produzione. Vi è una forte e crescente consapevolezza dei manager e dei dipendenti che i cambiamenti oramai sono necessari, ignorarli può indebolire l'Azienda. Il sistema di produzione al giorno d'oggi è abbastanza complesso di suo, per cui il WCM si pone come aiuto-guida nel supportare le problematiche da affrontare e consente di raggiungere risparmi misurabili.

L'organico del WCM è diviso principalmente in figure inserite nella Struttura Centrale:

- WW Programme Manager;
- WW Knowledge Manager;
- Business Leaders;
- Regional Programme Managers;
- WW Pillar leaders & Regional WCM Team;

ed altre inserite negli stabilimenti produttivi:

- Plant Manager;
- WCM Plant Support;
- Pillar leaders;
- Co-Pillar leaders and Pillar teams.

2.2 Pilastri Tecnici

A livello operativo il WCM si interfaccia abbracciando numerosi argomenti legati alla realtà quotidiana dei reparti di un'Azienda, codificati come *"Pilastri Tecnici"*; a livello gestionale altri *"Pilastri Manageriali"* completano la struttura organica della metodologia (in questo Elaborato quest'ultimi non verranno discussi, si citano per completezza della Struttura).

Ogni Pilastro Tecnico comporta delle fasi (7 step) e un processo di auditing, che culmina in una serie di premi (bronzo, argento, oro e world class). Obiettivi sempre più impegnativi sono raggiunti con un approccio rigoroso che comprende 3 livelli progressivi: reattivo, preventivo e proattivo. L'approccio reattivo attacca il problema e lo risolve con contromisure che non modificano il processo. Il reattivo analizza e attua tattiche studiando anche il passato; il proattivo analizza i potenziali rischi e propone soluzioni sulla probabilità che l'evento si verifichi. Gli ultimi due approcci potrebbero modificare il processo, potenziandolo.

Particolare attenzione è dedicata alla metodologia del *"procedere per fasi"*; prima di tutto ogni problema deve essere ben definito e descritto e quindi la sua causa può essere rimossa, questo è per prevenire il riemergere di un problema specifico analogo.



Figura 2: Approccio reattivo, preventivo e proattivo in base alla fase in cui si opera.

Di seguito si dà una panoramica breve dei Pilastri Tecnici dando maggiore spazio al pilastro tecnico della Manutenzione sviluppato nel corso di questo Elaborato. Si ricorda che ogni Pilastro Tecnico, se vuole acquisire o confermare i famosi punti qualificanti, deve proporsi durante gli Audit con progetti nuovi che rientrano in uno o più step, se questi risultano coerenti allo step associato e vengono valutati positivamente dalla commissione giudice acquistano valore e concorrono a dare un voto positivo che si somma agli ai voti ricevuti dagli altri pilastri. La procedura valutativa vuole che la commissione giudicante può anche decidere di dare esito non positivo e questo inficia sulla valutazione finale.

In Figura 3 si riepilogano i 10 Pilastri Tecnici.

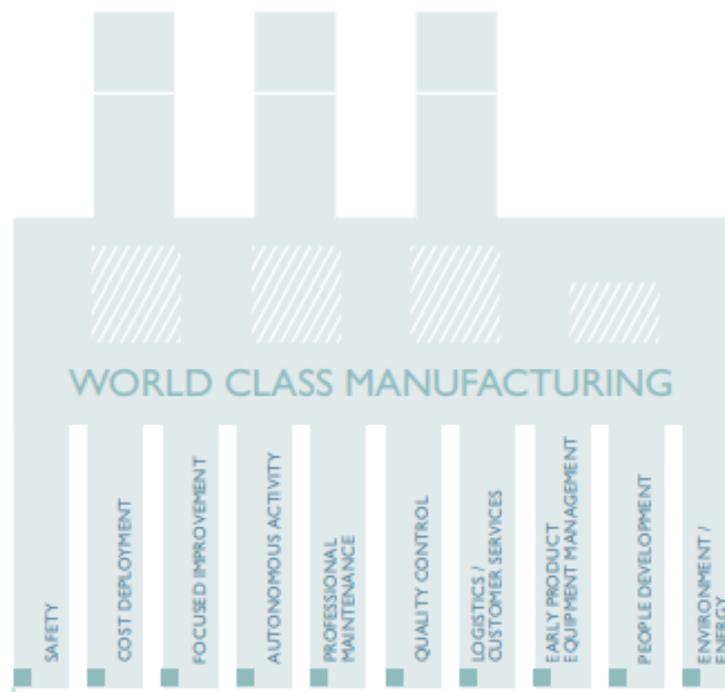


Figura 3: I 10 Pilastri tecnici [4].

- Safety:

È un pilastro tecnico che comporta un miglioramento continuo dell'ambiente di lavoro a beneficio dell'ergonomia e la riduzione di fattori fonte possibile di incidenti ed eventi pericolosi. Richiede azioni preventive intense, precise, continue, competenze e qualifiche necessarie per eliminare i potenziali rischi. Obiettivo di tale pilastro è azzerare gli infortuni sui posti di lavoro.

Come azioni reattive bisogna dapprima stabilire la Policy e la Mission del Pilastro, attuando una prima valutazione dei rischi del posto di lavoro (Step 0);

A seguito è essenziale analizzare gli infortuni e le cause di infortunio (Step 1);

Determinata la causa, bisogna attuare le contromisure ed eventuali estensioni sulle aree simili (Step 2);

Il passo successivo è avere una lista di tutti i potenziali problemi con degli standard di sicurezza iniziali da rispettare (Step 3);

A livello preventivo, è necessaria un'ispezione generale per la sicurezza: se vengono utilizzati dispositivi idonei, se il personale è formato ed addestrato ad attuare le norme di sicurezza vigenti nello stabilimento e per la postazione di lavoro da lui occupata (Step 4);

Note le procedure di sicurezza, lo step successivo riguarda un controllo autonomo dell'operatore e un'applicazione di contromisure preventive contro i potenziali problemi (Step 5);

Il personale formato ha così in mano strumenti di azione proattivi e può realizzare Standard autonomi di sicurezza (Step 6);

L'ultimo step è la piena implementazione del sistema di gestione della sicurezza (Step 7).

Riepilogando, il Pilastro Safety aiuta a: ridurre il numero di incidenti, sviluppare la cultura della prevenzione, migliorare l'ergonomia. Il mezzo attraverso il quale concretizzare tutto questo è analizzare sistematicamente gli incidenti avvenuti, accrescere la consapevolezza e la percezione del pericolo, formare gli operatori ed eliminare le potenziali zone e/o atteggiamento di rischio. Si registra che dall'applicazione del WCM gli incidenti (valutati secondo una scala di gravità crescente: condizioni di non sicurezza, primo soccorso, infortunio, infortunio con danni permanenti, infortunio fatale) sono stati drasticamente ridotti ed esistono Stabilimenti che registrano zero infortuni di media-alta gravità da più di un anno.

- Cost Deployment

Nella gestione aziendale si deve presentare un piano efficace di riduzione delle perdite laddove tali attività possano portare benefici sostanziali. Ci sono attività da valutare per identificare le perdite significative, definire metodi di eliminazione e risultati desiderati. Sinteticamente si potrebbe dire che tale Pilastro *“quantifica”* le perdite. Inoltre, a beneficio di una analoga esposizione, si riepiloga la suddivisione in 7 Step:

Si identificano i costi di trasformazione, ossia di processo e si assegnano obiettivi di riduzione costi (Step 1);

Si accertano qualitativamente perdite e sprechi (utilizzando una matrice definita matrice A) (Step2);

Si separano le perdite causali e le risultanti (utilizzando una matrice B) (Step 3);

Si trasformano le perdite in costi (utilizzando una matrice C) (Step 4);

Si chiariscono i metodi e le procedure corrette per eliminare le perdite (utilizzando una matrice D) (Step5);

Si stimano le utilità dei progetti di miglioramento stanziati (utilizzando una matrice E) (Step 6);

Si monitora il miglioramento (utilizzando una matrice F/G) (Step 7).

Riepilogando, il pilastro del Cost deployment ricerca le principali perdite esistenti nel sistema produttivo, quantifica i guadagni attesi su un loro intervento per concentrare del personale sulle attività che fruttano maggiori benefici. I guadagni attesi dalla corretta applicazione del metodo consentono di irrobustire la capacità di individuazione, e avere maggiori abilità nell'utilizzo degli strumenti. Rilevante è la distinzione doverosa da fare tra cosa è uno spreco e cosa è una perdita. Per spreco si intende un consumo smodato di risorse in input. Diverso è il concetto di la perdita che può essere spiegato come una risorsa non efficacemente utilizzata.

- Focus Improvement

Il fine è eliminare i fattori e le cause fonte di non valore aggiunto identificati in precedenza all'interno del pilastro Cost Deployment. Il Focus Improvement migliora i processi produttivi ed acquisisce un approccio finalizzato alla risoluzione di specifiche tematiche con risultati nel breve termine. Utilizza come strategia una logica semplice definita PDCA (Plan, Do, Check, Act): Pianifica una strategia comprendendo il problema identificando le cause radice ed erige soluzioni prioritarie; applica le soluzioni pensate; le verifica e monitora costantemente; standardizza il modello a situazioni simili.

Si definisce un'area campione che si vuole potenziare e/o ottimizzare (Step 1);

Si stratificano le perdite attraverso un diagramma di Pareto, un istogramma della distribuzione percentuale di un fenomeno, strutturato in ordine decrescente (Step 2);

Si sceglie il tema da “attaccare” e si prepara un piano di realizzazione (Step 3);
Si seleziona un team di lavoro che concretizzerà il progetto (Step 4);
Si definiscono le attività in dettaglio e si opta lo strumento di Problem Solving più opportuno (Step 5);
Si analizza il C/B (costi/benefici) (Step 6);
Si monitora costantemente e si valuta l’eventuale espansione del progetto a casi simili (Step 7).

Il pilastro FI è di grande importanza al WCM, aiuta ad eliminare le attività a non valore aggiunto, le inefficienze dei processi produttivi e favorisce il maturarsi di competenze di analisi specifiche complesse. I prodotti di tali analisi sviluppano una forma mentis di perfezionamento continuo.

- People Development

Le attività all'interno di questo pilastro devono garantire, attraverso uno strutturato sistema di formazione, abilità e qualifiche appropriate per tutti. Inoltre, il personale istruito, quello di manutenzione e i tecnici formati dovrebbero essere pronti a fare lo stesso in seguito altri dipendenti. Sviluppare ed estendere le competenze delle persone è l’ideale di questo Pilastro tecnico.

Si definiscono i principi e le priorità (Step 1);
Si circoscrive una sistema iniziale per la diffusione delle abilità (Step 2);
Con l’ausilio di piccoli progetti si consolidano le competenze (Step 3);
Si ridefinisce l’organizzazione della formazione da attuare in maniera continua identificando degli esperti (Step 4);
Si chiarisce la struttura della formazione continua e si potenziano le esperienze degli esperti (Step 5);
Si sviluppano le capacità tecniche specifiche ed elettive (Step 6);
Si controlla continuamente la formazione (Step 7).

Questa ricerca delle competenze e formazione continua mirano a sviluppare ruoli di alta professionalità e propone prospettive di un personale competente adeguatamente formato per ciascun posto di lavoro a lui assegnato. Facendo così si evitano carenze formative, si educa alla qualità gli addetti, ormai divenuti personale esperto e consapevole, capaci di applicare la manutenzione autonoma. La formazione crea anche nuovi spunti di riflessione su chi la riceve. Un sistema di “suggerimenti” utili viene attuato negli stabilimenti da parte del personale esperto e non, come sollecito a far valere la propria idea innovativa. Essa ha effettivamente un valore non solo simbolico. Queste opinioni

raccolte, e adeguatamente redatte vengono teorizzate come nuovi progetti “*Best Practices*”. Se effettivamente rientrano in soluzioni nuove, non ancora attuate, seguono un iter di approvazione guidato dagli enti centrali di riferimento. Se tali proposte acquisiscono la dicitura di “*implementabili*” lo saranno effettivamente nello stabilimento origine dell’idea e anche in altri che ne adotteranno la soluzione.

- Autonomous Maintenance

I macchinari e le attrezzature spesso operano in condizioni difficili, lo scopo è preservare un’elevata efficienza del sistema di produzione globale. Per cui si ha un maggiore coinvolgimento del personale di produzione per lo sviluppo di un sistema di cooperazione favorevole sia agli operatori di macchine e sia al personale di servizio di manutenzione, chiamati a sviluppare abilità e qualifiche tecniche. Il deterioramento ed il decadimento delle prestazioni delle macchine sono inevitabili poiché esse non hanno una vita infinita. Accorgimenti e manutenzioni ordinarie possono comunque rallentare l’inevitabile fenomeno del degrado. Il pilastro tecnico prevede anch’esso degli Step attuabili ed è anche responsabile della corretta organizzazione del posto di lavoro (Workplace Organization).

Si procede ad una pulizia iniziale (Step 1);

Si identificano le fonti di sporco e di attuano eventuali contromisure (Step 2);

Si definisce uno standard iniziale (Step 3);

Si attua un’ispezione generale per dare uno standard definitivo (Step 4);

Si passa ad una ispezione autonoma da parte del singolo operatore per mantenere e migliorare lo standard (Step 5);

Si definisce un sistema autonomo manutentivo (Step 6);

Si ha una autogestione del macchinario/impianto oggetto della manutenzione autonoma (Step 7).

Attuando un sistema di gestione del genere si evita un deterioramento accelerato, si migliorano le performance e dunque la qualità del prodotto e si sviluppano per il conduttore le competenze necessarie sul prodotto e sull’impianto. La collaborazione tra conduttori e manutentori si perfeziona, arricchendo un clima di intese e motivazione.

- Workplace Organization

Tale pilastro insieme al precedente risultano ormai legati e considerati un unico pilastro definito “*Autonomous Activity*”, infatti, ambedue una volta avviati possono essere visti come attività autonome di monitoraggio. Se la visione resta quella di ridurre gli sprechi, eliminare il superfluo e avere a disposizione solo il necessario, l’ambiente dove concretizzare questi concetti è esattamente la postazione di lavoro. L’operatore avendo a

disposizione solo ciò che serve, può operare velocemente riuscendo ad identificare univocamente gli utensili, componenti di cui necessita l'operazione, eliminando i tempi di attesa di passaggio alla stazione successiva a vantaggio di una fluidità complessiva dello sviluppo del prodotto. Una stazione di lavoro ben organizzata rende più vivibile e meno stressante la vita lavorativa, a vantaggio dell'ergonomia e del benessere lavorativo.

Si attua una pulizia iniziale (Step 1);

Si riordina il processo produttivo (Step 2);

Si crea uno standard iniziale (Step 3);

Si fa formazione focalizzata sul prodotto e sul processo (Step 4);

Si fa una fornitura dei materiali con logica JIT e si bilancia la linea produttiva (Step 5);

Si ottimizza lo standard (Step 6);

Si creano delle sequenze di lavoro standard per incrementare la qualità (Step 7);

Analizzando in dettaglio la sequenza delle operazioni, si evitano e si eliminano se presenti attività a non valore aggiunto definite (NVAA), si migliorano i cicli di lavoro, si crea collaborazione tra le persone e si arricchisce la qualità finale del prodotto. L'operatore ha tutto ciò che serve a portata di mano e di occhio, questo modello sintetizza il concetto di "Golden zone". I vantaggi in termini di produttività potrebbero essere del 20-30%.

- Professional Maintenance

Il carico delle attività associato a questo pilastro è il risultato del numero di guasti che si verificano, l'assenza sistematica di misure preventive e la scarsa cooperazione tra le macchine, conduttori e manutentori. Le principali attività da svolgere sono: analisi delle cause di fallimento, formazione e qualifiche del personale di servizio di manutenzione, collaborazione con i membri dello staff, responsabili della manutenzione autonoma. Obiettivo è azzerare i guasti, bisogna prima di ogni cosa individuare la/le "causa/e radice" del guasto, pianificare l'intervento di recupero delle condizioni "normali" e realizzare le contromisure ristabilendo condizioni "ottimali".

Come prima approccio è doveroso eliminare e prevenire un degrado rapido ed incontrollato del componente/macchinario/sistema (Step 1);

Si analizzano i guasti presenti (Step 2);

Si definiscono degli standard di manutenzione (Step 3);

Si realizzano delle contromisure sui punti critici della macchina e si attuano sistemi per allungare la vita media dei componenti (Step 4);

Si costruisce un sistema di manutenzione preventiva (Step 5);

Si consegna un sistema di manutenzione predittiva (Step 6);

Si fa una valutazione costi e una gestione che tende ad un apparato di manutenzione migliorativa (Step 7).

L'efficienza del parco macchine deve essere garantita, ne va a beneficio della qualità del prodotto finale, della sicurezza, della continuità, per cui le cause di guasti improvvisi devono essere eliminate, i componenti critici devono essere monitorati utilizzando tecniche di ultima generazione (in ottica Industria 4.0) facilitando così l'analisi di manutentori e conduttori. In uno stabilimento produttivo affinare una manutenzione pianificata aiutata da indagini e modelli predittivi può fruttare benefici di tempi e denaro cospicui.

- Quality Control

Il prodotto finito è frutto della progettazione e dei processi produttivi che sono stati necessari per definirlo tale. Il "difetto" del componente in qualsiasi suo aspetto può essere motivo di scarto e di mancato guadagno. La soddisfazione totale del cliente attraverso l'eccellenza nella qualità fornita dovrebbe essere prioritaria per qualsiasi Società che vuole essere competitiva e non cerca solo di sopravvivere sul mercato. Tutto ciò che ruota intorno alle "4M" (Materiale, Manodopera, Macchine, Metodi) deve creare condizioni operative che evitino non conformità. Nonostante molte misure preventive adottate ci sono sempre situazioni in cui i clienti non sono soddisfatti dei prodotti o servizi. Questo pilastro è generalmente progettato per fornire ai clienti prodotti di qualità, sviluppare condizioni operative adeguate per i sistemi di produzione e aumentare le capacità di problem solving per la qualità dei membri dello staff.

Si parte con uno studio delle condizioni iniziali (Step 1);

Si prosegue con il ripristino e lo sviluppo di standard operativi (Step 2);

Si fa un'indagine dei fattori di perdita cronici (Step 3);

Si aboliscono tutte le cause di perdita cronica (Step 4);

Si identificano condizioni ideali per ottenere zero difetti (Step 5);

Si cerca di attuare e mantenere tali condizioni idonee a creare "zero difetti" (Step 6);

Si potenziano i metodi di tutela delle condizioni intraprese (Step 7).

L'adeguatezza allo standard che crea prodotti di qualità ed il mantenimento di tali requisiti impedisce di avere imperfezioni ed anomalie non desiderate dall'acquirente. Il gradimento del cliente è imprescindibile e non riguarda solo un basso costo del prodotto. Non da meno, il miglioramento del Problem Solving da parte degli operatori si semplifica e le proposte di perfezionamento del prodotto hanno capacità di sorgere spontaneamente se lo standard ottimale è già presente in stabilimento.

- Logistics & Customer Service

Grandi scorte o una necessità di riprogrammare la produzione a causa delle carenze di materie prime sono di solito la ragione per eseguire attività di riassetto. L'obiettivo è quello di creare condizioni favorevoli per il flusso di materiali, tra i fornitori e l'impianto; ridurre livello di inventario; ridurre al minimo la quantità di spostamenti; ridurre il tempo di transito. Le attività principali si basano sulla Value Stream Mapping per determinare le carenze di scorte esistenti o il contrario. Il traguardo è avere zero scorte, bisogna creare un flusso di risorse continuo accurato e controllato.

Si ridisegnano le linee produttive per soddisfare il cliente (Step 1);

Si riorganizza la logistica interna (Step 2);

Si riordina la logistica esterna (Step 3);

Si livella la produzione (Step 4);

Si affina la logistica interna ed esterna (Step 5);

Si integra e si rinforza una rete di vendita, produzione e acquisti (Step 6);

Si adotta una schedulazione a sequenza prefissata (Step 7).

L'iniziativa è quella di provvedere a creare una rete di fornitori affidabili, ed un flusso di materiale coerente alla produzione da effettuare. Le scorte eccessive sono soggette ad obsolescenze per cui sono da abolire magazzini ampi. Si punta a scorte basse e minime movimentazioni interne tra i reparti. L'evasione degli ordini deve essere puntuale, veloce; per far ciò il tema della logistica dell'approvvigionamento delle materie prime e la gestione delle scorte deve essere diffuso e personalizzato in base ai processi produttivi da attuare.

- Early Equipment & Product Management

Le attività che fanno parte di questo pilastro sono di solito intraprese se il tempo di avvio delle nuove apparecchiature è eccessivo. L'implementazione rapida consente costi ottimizzati ed eliminazione delle perdite derivanti dal periodo di inattività. Inoltre, il pilastro copre le attività relative alla gestione durante il processo di sviluppo del prodotto, attraverso specifici requisiti tecnici, per la presentazione di un'offerta e delle forniture coerente con i requisiti dell'utente. Si progetta con l'intento di prevenire le problematiche dell'inevitabile manutenzione da effettuare sugli impianti. Si anticipano i problemi che nuovi impianti possono presentare; una "knowledge" accurata sugli esistenti deve essere la base di conoscenza da cui attingere per lo sviluppo del nuovo impianto al fine di risolvere in anticipo le anomalie. Le caratteristiche necessarie che bisogna riscontrare sono: affidabilità, manutenzione semplice da effettuare (dunque accessibilità), migliore gestione, ispezione rapida, bassa rumorosità, sostenibilità economica, qualità elevata del prodotto realizzabile.

Si attua una pianificazione: Analisi di investimenti, piani di realizzazione (Step 1);

Si idealizza un progetto di massima stimandone i costi e dando delle specifiche tecniche (Step 2);

Si entra nel dettaglio del progetto facendo una pianificazione di dettaglio con specifiche più accurate (Step 3);

Si passa alla costruzione dell'impianto con budget assegnati e rilascio delle capacità schedulate (Step 4);

L'installazione ha lo scopo di appurare le problematiche del layout, ispezionare cablaggi e sistemi di supporto e fare un training degli operatori coinvolti (Step 5);

Lo step successivo è una prova, una verifica dell'affidabilità, della manutenzione autonoma e della sicurezza (Step 6);

Infine, si ha l'avviamento con verifica delle micro fermate, della capacità effettiva, dei guasti e del tasso di difettosità (Step 7).

Si evince come tale Pilastro sia utile a realizzare impianti coerenti alla produzione da realizzare, con cicli di manutenzione ordinari eseguibili autonomamente e preventivi economicamente sostenibili. Le principali funzioni coinvolte sono la Produzione, la Manutenzione, le Tecnologie e la Direzione Tecnica.

- Environment/Energy

Il decimo pilastro viene utilizzato per soddisfare le norme ambientali (rispetto dei requisiti e standard di gestione), continuo miglioramento dell'ambiente di lavoro, ecc. Le attività principali comprendono: audit interni periodici che verificano l'impatto dello stabilimento sull'ambiente circostante, identificazione dei rischi e prevenzione, uso degli standard ISO e una varietà di miglioramenti tecnici del sito di produzione. Per una grande Azienda, operante in qualsiasi Paese, un impegno notevole, che rientra tra i propri valori e principi, di pubblica utilità, è garantire un'immagine seria e professionale manifestando il proprio impegno verso politiche ambientali sostenibili. Il pilastro si pone come sistema di gestione e controllo dell'impatto ambientale generato dall'attività produttiva e pone le norme-guide per garantire il rispetto delle leggi e ridurre gli sprechi.

Rispettare le normative ed i regolamenti vigenti sull'ambiente (Step 1);

Adottare contromisure contro sorgenti di disturbo ed inquinanti (Step 2);

Rispettare standard provvisori (Step 3);

Controllare l'impianto se contiene sostanze chimiche nocive, adottare misure di risparmio di risorse ed energia (Step 4);

Inaugurare un sistema di gestione ambientale e dotarsi di un sistema operativo di monitoraggio e reportistica (Step 5);

Perseguire scelte a basso impatto ambientale (Step 6);

Creare uno stabilimento modello con un sistema di gestione efficace (Step 7).

I risultati attesi interni sono riduzione dei consumi energetici e dei rifiuti da smaltire ed alte quote di materiale riciclabile da riutilizzare in sito o altrove.

2.3 Phenomenon Description & Problem-Solving Techniques

Il WCM è un modello di gestione integrato, che presuppone il miglioramento continuo delle attività all'interno del quadro del sistema organizzativo. L'obiettivo è di raggiungere una globale competitività aderendo ai seguenti principi: *"no waste"*, *"no stock"*, *"no failure"*, *"no defect"*, migliorando i processi applicati, aumentando la produttività, incrementando la sicurezza, riducendo i costi. Per perseguire ciò è necessario organizzare il lavoro di squadra e preparare i dipendenti. L'implementazione di moderni strumenti di gestione della produzione aiuta ad arricchire il sistema interno dell'organizzazione.

Sia la letteratura disponibile che la pratica industriale dimostrano che per raggiungere un significativo miglioramento dell'azienda, accrescendo sia cultura aziendale che consapevolezza, è necessario cambiare l'approccio di tutti i dipendenti e far sì che ci sia una comprensione crescente dei processi, dove si possano identificare meglio i problemi emergenti. In caso di problemi complessi, per esempio, potrebbe essere eseguita l'analisi "4M + Project". Lo scopo è identificare dove si trova la causa (o le cause) radice. L'origine del problema sta nel materiale, nella macchina, nei metodi usati o è un fattore umano? Se la causa è "material", "method" e "Man" uno strumento utilizzato è chiamato Problem Solving (Creative Problem Solving); in caso di cause legate alla macchina/ "machine" è un Quality Maintenance tool [5]. Per i primi tre gruppi di cause è stato sviluppato uno strumento di qualità chiamato Quality Assurance Matrix. È un elenco di tutti i problemi che si sono verificati all'interno e all'esterno della società in passato e che sono attualmente in fase di risoluzione. Inoltre, aiuta a decidere cosa dovrebbe essere fatto prima. La matrice consente una migliore diagnosi della situazione, prendendo misure adeguate, scoprendo la causa del problema e infine introducendo delle modifiche. Per i problemi relativi alle macchine, l'analisi inizia semplicemente da un'ispezione dei parametri attuali. Se i parametri sono corretti viene effettuata un'ulteriore analisi approfondita per eliminare definitivamente il problema. Nel caso in cui sia impossibile identificare le cause di difetti e categorizzarli, sebbene siano state condotte analisi complete, deve essere avviato un lavoro di progettazione.

L'adeguamento dei processi produttivi ai requisiti di un mercato internazionale richiede un'analisi delle attività dal punto di vista del flusso dei materiali, del flusso di informazioni e dell'eliminazione di qualsiasi fonte di perdite. Agire sui problemi identificati, applicare

soluzioni, stimare i risultati raggiunti è la logica di intervento. Diverse sono le tecniche che supportano i processi di *problem solving* in tutti gli ambiti e vari sono i modelli di gestione.

Vi è una sostanziale differenza tra cosa è un problema e cosa è un fenomeno. Bisogna carpirne le due definizioni per chiarire i concetti. Per “*problema*” si intende la differenza tra cosa si osserva e cosa si desidera. Un “*fenomeno*” è una condizione anomala che produce un problema.

L’ordine cronologico degli eventi pone dunque in primis una causa scatenante del fenomeno che porta al problema.

L’analisi solitamente agisce in maniera del tutto opposta. Dal problema emerso, risale al fenomeno, dal fenomeno passa alla causa radice scatenante, in ultimo da direttive su possibili soluzioni e azioni correttive.

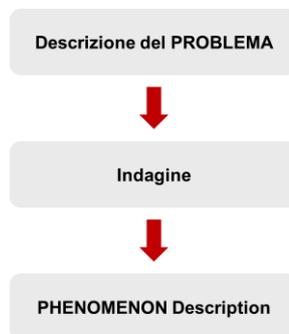


Figura 4: Dall’analisi del problema si risale al fenomeno.

L’evoluzione che la descrizione del fenomeno ha subito nel tempo è dovuta all’avanzare degli strumenti indagine ormai di ultima generazione. Si è passati da semplici domande ripetitive e ispezioni visive all’ausilio di dispositivi tecnologici (high speed camera) che monitorano in dettaglio e osservano il fenomeno in modo da dare certezze sulla causa radice.

Ogni fenomeno di perdita, di qualsiasi natura esso sia, si affronta secondo una logica PDCA che è la base di tutte le metodologie di problem solving.



Figura 5: Logica PDCA, questo ciclo è la base per affrontare qualsiasi analisi.

Sintetizzando, gli strumenti di *problem solving* tradizionalmente utilizzati dal metodo WCM nella fase “Plan” della logica PDCA per sviscerare un problema e risalire alla causa radice sono:

- 4M. Tecnica già parzialmente discussa precedentemente, utilizza uno schema molto semplice definito “fishbone diagram”, e costruisce una lista di possibili cause del problema riferite alle categorie: Man, Material, Method, Machines; che fanno riferimento all’ambiente della fabbrica. L’importanza di un diagramma 4M è quella di aiutare i team nell’organizzare le potenziali cause del problema e posizzarle in maniera ordinata per identificare quella radice.

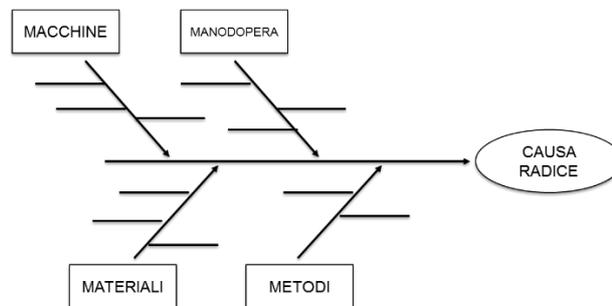


Figura 6: Metodo 4M (Material, Man, Machine, Method) aiuta a ricercare la causa radice del problema.

- 5 “S” (dal giapponese: Seiri-classificare, Seiton-ordinare, Seiso-pulire, Seiketsu-standardizzare, Shitzuke-avere disciplina, curare e migliorare lo standard). È un’attitudine mentale e operativa da sviluppare verso il continuo miglioramento per ridurre i tempi di ricerca, mantenere la qualità, l’ordine e la pulizia. Ha lo scopo di ripristinare le condizioni standard di base ed è un buon metodo per la soluzione di tipologie di perdite, sporadiche o croniche, semplici e può condurre all’uso di strumenti più sofisticati.

- 5W1H (Who, What, Where, When, Why, How). Con questa serie di semplici domande a diversi livelli si assicura che un problema sia analizzato completamente in tutti i suoi aspetti. Una descrizione dettagliata è molto importante nella fase di analisi delle cause radice del problema. È uno strumento di indagine per scoprire il fenomeno dietro il problema, con 6 domande aiuta a non dimenticare nessun aspetto della descrizione dell'anomalia rilevata. È un'analisi approfondita del problema e porta a "suggerimenti" sulle possibili cause radice; aiuta a indirizzare sul tipo di progetto da avviare (Standard, Advanced o Major Kaizen).

Plant	DATA	UTE/Department	Project	Team
Problem:				
				
WHAT				
What happened? (Can we reproduce the problem?) What's the problem?				
WHEN				
When did the problem/phenomenon occur? When in the sequence of operation; startup, continuous running, intermittent problem, shutdown, changeover? Which date? Time? What shift?				
WHERE				
Where did you see the problem? Where on the equipment, process, product and/or material did you see the problem/phenomena? Where is the source of the problem / phenomenon?				
WHO				
Who can generate the problem? Everyone? Or is it less of a problem for some individuals or teams? (If so, what info can they offer?) Is it skill related?				
WHICH				
Which trend or pattern have the phenomena? E.g. Is the phenomena more frequent on Monday mornings? After a change-over? Or is it random in nature? It is related to any process variable? What factors influence the occurrence?				
HOW				
How the problem and phenomenon happens? What was the sequence of events to change in relation to normal condition?				
Phenomenon:				

Figura 7: Metodo 5W1H, per un'analisi efficace e non superficiale del problema.

- 5 WHYS. Tramite un set a cascata di "Perché" si indaga il problema alla ricerca del movente per poi attuare una soluzione definitiva e monitorarla. Tale analisi si applica per esempio in caso di difetti sporadici, perdite croniche. Abitua le persone a porsi delle domande e a trovare le risposte, ed insegna che non c'è un limite al livello di dettaglio fino ad individuare la causa di fondo.

Quando non si è in grado di identificare i fenomeni e le loro cause radice, dovremmo forse pensare che non stiamo guardando abbastanza in dettaglio. Se si riuscissero a limitare le possibili cause del problema e analizzare il problema nello specifico e non superficialmente ne andrebbe a beneficio della tempistica di risoluzione che risulterebbe assai più breve, il fenomeno specifico sarebbe generato da un numero ridotto di possibili cause.

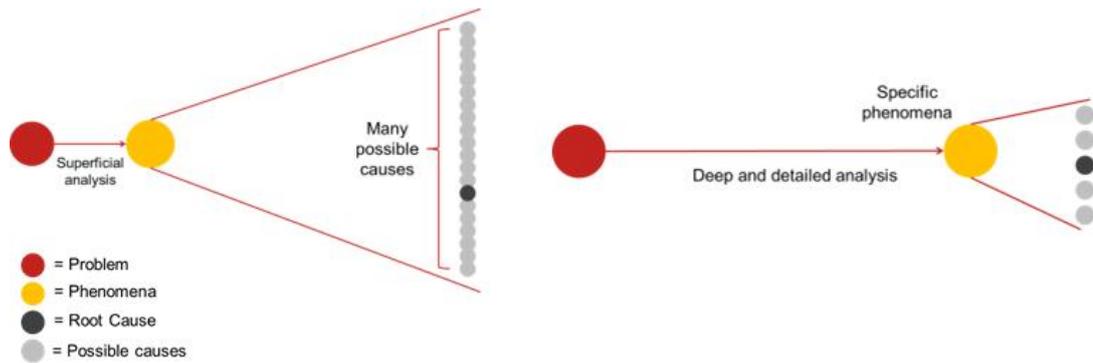


Figura 8: Esempio di come un'analisi superficiale porta ad analizzare tante possibili cause, mentre un'analisi mirata e dettagliata del problema analizza poche cause, tra le quali sicuramente vi è una radice.

2.4 Il Kaizen

L'approccio alla risoluzione dei problemi può essere di tipo sistemico o focalizzato. Il primo è orientato alla risoluzione di tematiche di carattere generale e non univocamente identificabili, attraverso l'apertura di cantieri in determinate aree; il secondo è orientato a risolvere tematiche specifiche e fa uso dei Kaizen. La parola Kaizen (改善) è una parola composta analizzandola: "Kai" vuol dire Cambiamento; "Zen" sta per miglioramento. L'importanza del "continuous improvement" è da sottolineare. Migliorarsi significa mantenere il livello precedente di innovazione raggiunto e volgersi verso quello step in più. I Kaizen, ossia questi progetti attuati verso il miglioramento, aiutano proprio a non perdere il vantaggio precedentemente acquisito attraverso azioni di piccola, media o elevata entità realizzate in modo continuativo.

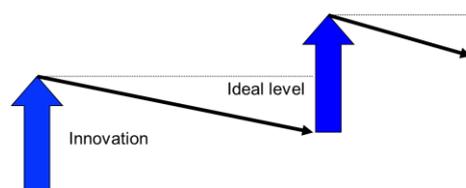


Figura 9: L'innovazione, come tutte le cose lasciate a se stesse, è soggetta ad obsolescenza.

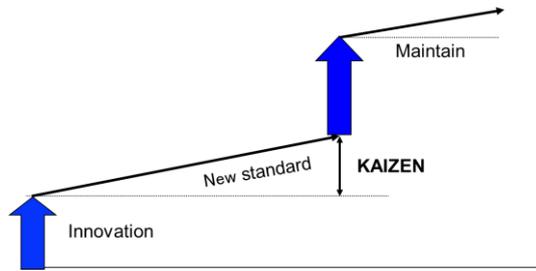


Figura 10: Se venissero attuati progetti per mantenere lo standard e migliorarlo, allora l'innovazione acquisirebbe nuovo valore.

Lo strumento di Problem Solving da applicare è funzione del tempo che si può dedicare all'analisi e della complessità del problema. I progetti si possono differenziare in: Quick Kaizen, Standard Kaizen, Major Kaizen, Advanced Kaizen.

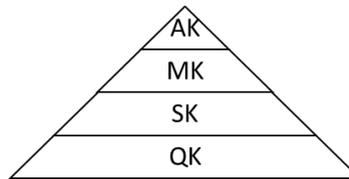


Figura 11: La gerarchia piramidale dei Kaizen.

La forma piramidale della Figura 11 sta ad indicare non solo la complessità crescente dal basso verso l'alto, ma anche la numerosità dei progetti, se avanza il livello di difficoltà del Kaizen e si passa ad esempio dal QK allo SK il numero di progetti avviati nello stabilimento è decisamente più basso. Si sta cercando di aumentare la quota di progetti significativi e laboriosi poiché questi hanno ricavi decisamente maggiori per l'Azienda.

Il Quick Kaizen (durata una settimana) viene utilizzato quando il problema è per lo più definito e i dati sono disponibili. È uno strumento PDCA, efficace da implementare e di rapidi miglioramenti, sviluppa idee e suggerimenti, serve a diffondere il know-how e le soluzioni implementate.

Lo Standard Kaizen (durata un mese) è usato per problemi più complessi o cronici, dove però la maggior parte dei dati sono già definiti e disponibili. La grande differenza rispetto al precedente è che, mentre il QK viene solitamente gestito da un operatore con una minima supervisione, lo SK è sviluppato e supervisionato da un tecnico supervisore.

Il Major Kaizen (durata tre mesi) è uno strumento laborioso per il miglioramento, con team più grandi e tempi più lunghi (si attua per problemi complessi e cronici). L'attività della squadra è monitorata da un sistema visivo (scheda) per ogni fase del processo di

miglioramento; schede che devono facilitare il coinvolgimento delle persone, la proattività e la diffusione della comprensione dei problemi. Il capo progetto deve verificare lo stato di avanzamento, il corretto utilizzo di strumenti e divulgazione del know-how. Sintetizzando gli step da attuare:

- Assicurarsi di aver circoscritto il problema, chiedersi qual è l'impatto (tempo, costo), fare delle chiare osservazioni;
- Capire come il sistema o il processo funziona;
- Definire esplicitamente il problema, raccogliere e analizzare gli eventi (dati, video, 5W1H);
- Eseguire l'analisi della causa principale, usare 5 Whys Technique, Fishbone Diagram;
- Validare il ragionamento, confronto pratico tra fatti e dati esperienza;
- Generare diverse soluzioni (Brainstorming);
- Dare priorità a queste soluzioni, tempo necessario per implementare, costo richiesto per implementare, probabilità che la soluzione funzioni;
- Contromisure complete;
- Accertare che i risultati siano misurabili;
- Sostenere, controllare e riprodurre risultati.

Infine, l'Advanced Kaizen (durata tre/sei mesi) è quello che coinvolge i maggiori esperti, ha benefici notevoli se correttamente eseguito, si serve dei tools più complessi ed avanzati: DOE (Design of Experiments), PPA (Processing Point Analysis), 7 Step Microfermi, SMED (Single Minute Exchange of Die).

2.5 Approccio di CNH Industrial al WCM

CNH Industrial è un leader globale nel settore dei capital goods con una consolidata esperienza industriale, un'ampia gamma di prodotti e una attiva presenza mondiale. Presente sui mercati internazionali, con funzioni di progettazione, ricerca e sviluppo, produzione, distribuzione, commerciali e finanziarie, ciascuno dei brand della Società è un marchio internazionale di rilievo nel rispettivo settore industriale: Case IH, New Holland Agriculture e Steyr per i trattori e le macchine agricole, Case e New Holland Construction per le macchine movimento terra, Iveco per i veicoli commerciali, Iveco Bus e Heuliez Bus per gli autobus e i bus granturismo, Iveco Astra per i veicoli cava cantiere, Magirus per i veicoli antincendio, Iveco Defence Vehicles per i veicoli per la difesa e la protezione civile, e FPT Industrial per i motori e le trasmissioni. Sono attivi in 180 paesi, con oltre 63.000 dipendenti in 66 stabilimenti produttivi e in 53 centri di ricerca e sviluppo. Le Regioni dove l'Azienda è presente, indicate frequentemente utilizzando i loro rispettivi acronimi, sono così composte:

- APAC: Asia continentale (inclusa Turchia e Russia), Oceania e paesi membri del Commonwealth di Stati indipendenti (esclusa l'Ucraina);
- EMEA: paesi membri dell'Unione europea, paesi membri dell'Associazione europea di libero scambio (EFTA), Ucraina, Balcani, continente africano e Medio Oriente (esclusa la Turchia);
- LATAM: America centrale e meridionale e Isole dei Caraibi;
- NAFTA: Stati Uniti, Canada e Messico.

Attraverso i 12 marchi producono veicoli che permettono la crescita dei settori dell'agricoltura e dell'industria e facilitano il trasporto. Le “macchine da lavoro” progettate, prodotte e vendute, dai trattori e dalle mietitrebbie, ai camion e agli autobus, così come i sistemi di propulsione e trasmissione per camion e veicoli commerciali stradali, nonché motori per applicazioni marine sono al passo con i tempi, gli stabilimenti sempre più rispettosi dell’ambiente, delle persone e delle comunità locali.

Nel settore dell’agricoltura, ad esempio, si immagina sempre di più una “fattoria del futuro” altamente tecnologica (es. guida autonoma) che si allontana dai veicoli alimentati a combustibili fossili e abbraccia le fonti rinnovabili (propulsione a metano), i primi passi verso questa visione sono già in corso d’opera. Per quanto riguarda la CO₂ e altre emissioni nell'aria, si hanno sviluppi significativi nei siti produttivi, ad esempio nel 2017 si è raggiunto una riduzione annua dell’11% di emissioni di CO₂ per ora di produzione e un 56% del consumo di elettricità da fonti rinnovabili. Per quanto riguarda la risorsa definita la più preziosa, ossia le persone, si continuano a sviluppare numerose attività di coinvolgimento, cercando di migliorare il benessere dei dipendenti attraverso progetti mirati a livello locale e fissando obiettivi a lungo termine a livello regionale e globale.

Nel tentativo di consolidare e mantenere elevati standard di eccellenza produttiva, CNH Industrial applica i principi di World Class Manufacturing (WCM), per la gestione di tutti gli elementi di un'organizzazione (dalla sicurezza all'ambiente, dai costi distribuzione allo sviluppo delle persone). Attraverso il WCM, l'azienda si concentra sul miglioramento dell'efficienza di tutti i suoi componenti tecnici e organizzativi con l'obiettivo di massimizzare la competitività del mercato.

2.5.1 Risultati ottenuti, Report del 2017

Da un documento ufficiale pubblicato ad aprile del 2018 da CNH Industrial riferito all’anno 2017 e come di consueto chiamato “Sustainability Report” [4] si mostrano chiaramente, in generale, i risultati aziendali, di sviluppo e sostenibilità, ma anche un piccolo riferimento al WCM e la mission futura. Dei 54 stabilimenti che aderiscono al programma WCM, partecipa il 96% del personale dell'impianto e il 99% dei ricavi delle vendite di prodotti fabbricati negli stabilimenti della Società. Come più volte sottolineato nell’articolo, le

persone svolgono un ruolo centrale. Lo sviluppo di esse secondo la logica del WCM comporta affrontare alcune importanti sfide: creazione di una cultura della sicurezza; garantire l'interazione perfetta tra persone e sistemi, in modo da migliorare le competenze di processo; sviluppo di eccellenti professionisti tecnici in grado di valutare lo stato attuale di qualsiasi struttura, sviluppare piani d'azione per raggiungere lo stato desiderato e implementare sistemi di manutenzione efficienti ed efficaci; sviluppare le capacità e le competenze dei lavoratori; coinvolgere e motivare le persone ad assumere responsabilità all'interno di un ambiente di miglioramento continuo.

Per quanto riguarda il pilastro Safety, ad esempio, il tasso medio di frequenza degli incidenti (per 100.000 ore lavorative) è diminuito del 13,8% rispetto all'anno precedente. Nell'ambito del pilastro Energy, i fornitori dovevano includere la misurazione del consumo di energia nelle loro pratiche standard. Il monitoraggio del consumo di energia per almeno un anno ha registrato una riduzione media del 3,1% rispetto al 2016. Poiché i clienti richiedono performance di prodotto sempre superiori l'attenzione si concentra sulla qualità in ogni aspetto del processo di produzione, questo ha portato gli stabilimenti ad adottare anche un sistema di gestione della qualità conforme alla norma ISO 9001.

Nel 2017 sono stati realizzati 1536 progetti WCM generando 107 milioni di dollari in risparmi. Al dicembre 2017, 54 stabilimenti partecipavano al programma, rappresentando l'82% degli impianti aziendali, 96% del personale dell'impianto e il 99% dei ricavi delle vendite di prodotti fabbricati dagli stabilimenti della Società. 1 stabilimento ha ricevuto il premio d'oro, 15 hanno ricevuto il premio d'argento e 23 hanno ricevuto il premio di bronzo. Più di 35 audit relativi a WCM sono stati effettuati in EMEA da auditor certificati, con buoni risultati in termini di implementazione della metodologia. Inoltre, nel 2017, per la prima volta, sono stati effettuati 6 audit in LATAM, ottenendo buoni risultati in termini di punteggi WCM. Il 2017 ha visto lo stabilimento IVECO dei veicoli commerciali di Madrid diventare il primo nel mondo CNH a raggiungere il livello Gold nel programma WCM divenendo un brillante esempio di eccellenza manifatturiera per tutti. Questo risultato riflette i migliori risultati dello stabilimento in oltre 70 anni di storia, principalmente a causa delle misure di miglioramento introdotte negli ultimi anni. Per citarne qualcuna: 1,080 giorni con zero incidenti e il 99% di rifiuti riciclati nel 2017. Molti di questi miglioramenti sono stati raggiunti anche grazie al coinvolgimento e ai suggerimenti raccolti dagli impiegati (in media 34 suggerimenti per dipendente, che è di per sé un altro segno di eccellenza).

2.5.2 Le novità, WCE (World Class Engineering) e WCL (World Class Logistics)

Nel 2017, CNH Industrial ha esaminato la possibilità di estendere il World Class Manufacturing ad una delle sue aree più strategiche, il Product Development. Il sistema World Class Engineering (WCE) segue la struttura del WCM, sebbene il suo contenuto è completamente diverso in natura. Consiste di 10 pilastri tecnici e 10 pilastri di gestione e comporta l'applicazione di un sistema di audit (come il sistema WCM) per tracciare la maturità dell'implementazione. Ogni pilastro ha un ben definito obiettivo e consiste di 7 fasi. I 10 pilastri tecnici WCE sono: Ricerche di mercato, Innovazione, Pianificazione del prodotto, Gestione dei processi di sviluppo del prodotto, Design, Distribuzione dei costi, Supporto tecnico, Gestione della conoscenza, Sviluppo delle persone, Ambiente d'ufficio per il lavoro creativo. La metodologia WCE è attualmente in fase di test nella gamma di veicoli commerciali leggeri, con un primo audit previsto per il 2018.

Il continuo miglioramento dei processi produttivi e logistici in CNH è stato guidato dai principi del WCM. Per migliorare il servizio e la qualità del cliente e ridurre i costi operativi della distribuzione, CNH Industrial ha implementato l'approccio World Class Logistics (WCL) nei suoi centri di distribuzione di parti in tutto il mondo. WCL è basato sulla WCM, e sfrutta le competenze e l'esperienza acquisite. WCL si concentra sul miglioramento della sicurezza e dell'ergonomia per gli operatori, offrendo prodotti e servizi di alta qualità e ottimizzazione dei processi logistici in parti centri di distribuzione. La compagnia ha lanciato il programma WCL nel 2015 in 5 centri di distribuzione impiegando e istruendo circa 500 persone fino ad oggi. Il programma offre riduzioni dei costi operativi strutturati e sostenibili riducendo al minimo l'utilizzo degli imballaggi e ottimizzando la gestione dei trasporti. [4]

2.5.3 L'importanza dei suggerimenti

Uno dei punti di forza del sistema WCM è la sua capacità di motivare le persone, parte intrinseca del modello, a impegnarsi e assumersi la responsabilità contribuendo direttamente all'elaborazione dell'ottimizzazione tramite un sistema consolidato di raccolta di suggerimenti. Le persone sono parte integrante del raggiungimento degli obiettivi e sono coinvolte durante l'intero progetto di miglioramento (universalmente noto come Kaizen), dalla definizione alla realizzazione. Questo permette loro di acquisire e sviluppare competenze e buone pratiche che vengono poi condivise tra gli impianti, formando una rete di competenze e conoscenza al servizio della collettività. Il WCM svolge un ruolo nella creazione di un'organizzazione che è impegnata e libera da barriere, dove idee, conoscenze e talenti sono condivisi tra gruppi di lavoro, sia all'interno che all'esterno.

In CNH Industrial, l'uso di strumenti per condividere informazioni e raccogliere suggerimenti è ben consolidato. Nel 2017, circa 466.000 suggerimenti dei dipendenti sono stati raccolti negli stabilimenti in cui vengono applicati i principi WCM, con una media di 13 per dipendente. Nel corso del 2017 sono stati offerti corsi di formazione di auditing interno ai responsabili degli impianti, supportando in tal modo la diffusione continua dei principi del WCM. Le iniziative WCM sono coordinate da un comitato direttivo (costituito nel marzo 2012), composto da un gestore senior della produzione e gestori CNM Industrial WCM, che guidano le strategie pertinenti e sviluppano le metodologie necessarie per l'intera azienda. [4]

2.5.4 Formazione dei fornitori sul WCM

Nel corso degli anni, il sistema di sviluppo delle competenze WCM ha consentito ai dipendenti di diventare più completi professionisti, permettendo a coloro che si sono particolarmente distinti in determinate aree di diventare specialisti effettivi. A questi dipendenti-specialisti, che hanno padroneggiato specifiche competenze tecniche al massimo livello, si consente di fornire formazione sia interna che esterna al gruppo (ad es. fornitori), diffondendo così i principi e le migliori pratiche del WCM. Il 2017 ha visto il primo fornitore di CNH Industrial ad ottenere il Bronze Level, un anno in anticipo rispetto alle previsioni iniziali. Nel 2017, CNH Industrial ha inoltre continuato a effettuare audit e follow-up presso gli stabilimenti fornitori nell'area EMEA per monitorare un numero di indicatori di sostenibilità (KPI), come frequenza di incidenti e consumo di energia, registrazione significativa di miglioramenti per tutti i fornitori coinvolti. Si contano 199 impianti inclusi nel programma WCM al 31 dicembre 2017. Le attività di formazione si sono svolte in 2 fasi distinte, in primo luogo, varie sessioni di formazione guidate dal WCM di CNH Industrial hanno avuto luogo nei locali dei fornitori. Successivamente il team WCM dei fornitori ha avuto l'opportunità di visitare gli stabilimenti CNH Industrial selezionati. Nel 2017, 10 workshop erano organizzati presso i migliori impianti di CNH Industrial in termini di implementazione del pilastro WCM, coinvolgendo 50 fornitori di WCM. Inoltre, sono stati condotti circa 80 follow-up per verificare la corretta implementazione della metodologia. Il sistema WCM, implementato anche al di fuori di CNH Industrial, consente all'azienda di soddisfare le proprie esigenze da cliente con la massima flessibilità ed efficacia; condividendolo con i fornitori il metodo garantisce un'elevata qualità del prodotto e l'efficienza dei processi. WCM cerca di infondere e rafforzare l'idea che tutti coloro che fanno parte di un'organizzazione devono conoscersi e sforzarsi di soddisfare i propri bisogni e quelli di tutte le altre parti interessate, in termini di prodotti, elaborazione degli ordini, consegna, servizi di risposta rapida e assistenza post-vendita. Dopotutto, l'obiettivo del miglioramento continuo è aumentare la soddisfazione e la lealtà dei clienti, garantendo al tempo stesso una garanzia a lungo termine redditività, sviluppando processi

e aggiungendo valore a prodotti e servizi. L'approccio ha consentito a un maggior numero di fornitori di ottenere buoni risultati durante l'anno. Le attività hanno continuato a concentrarsi sulle aree modello (ad esempio, le aree all'interno di un impianto in cui le metodologie e gli strumenti WCM vengono prima applicati rigorosamente), ma sono stati estesi anche ad altre aree dell'impianto. [4]

3 Focus sul pilastro tecnico PM

3.1 Tipi manutenzione

Tra gli obiettivi di uno Stabilimento, che lavora e produce ogni giorno, vi è la necessità di usare al meglio le attrezzature ed i macchinari di cui dispone, per produrre in maniera ottimale, associando una mirata ed organizzata struttura di manutenzione. Immaginando una similitudine tra il corpo umano e le attrezzature industriali, così come bisogna usare misure preventive, effettuare periodici controlli, mantenere uno stile di vita sano per ridurre il rischio di malattie, la stessa cosa vale per le attrezzature industriali. Necessità è prevenire il rischio di guasti; in sostanza, bisogna prendersi cura dei macchinari presenti nello stabilimento. Campanelli di allarme sono intuibili da avvisi e dalle stesse prestazioni delle macchine. Quest'ultime sono progettate per essere affidabili, i suoi componenti sono molteplici e complessi, e se solo uno di essi ha un'anomalia il complesso potrebbe risentirne e non funzionare correttamente. Eliminare i guasti tecnici a posteriori è possibile, i problemi maggiori risultano essere quelli economici derivanti da probabili fermi impianto se la macchina è inserita in un flusso produttivo, e comunque di rilevanza se non si è provveduto a monitorarla opportunamente. Purtroppo, la perdita di funzionalità di un bene è un processo che non si può arrestare, l'obsolescenza fisica e tecnologica a cui è sottoposto nel tempo qualsiasi oggetto fisico è un qualcosa di inarrestabile.

Il BoK (Book of Knowledge) di PM [6], è una sorta di manuale-guida, creato dal Team Centrale di CNH Industrial, suddiviso in due parti: nella prima parte, si preparano e si chiariscono le attività necessarie per introdurre il metodo World Class Manufacturing in ambito Professional Maintenance (PM); nella seconda parte, di Management System, tutti gli strumenti e gli standard sviluppati dal WCM in ambito PM vengono interiorizzati a livello teorico e attuati nella pratica nei vari progetti seguendo un approccio basato su sette step. In questo manuale ritroviamo informazioni sulla tipologia di manutenzione applicata negli stabilimenti del gruppo. In Figura 12 si mostra un flusso che li sintetizza. Una grande differenza è tra una manutenzione pianificata (programmata) e non pianificata. Se viene applicata una logica che usa un tipo di manutenzione pianificata, che risulta ormai la più impiegata, essa può intervenire in modo preventivo (PM) o correttivo (CM). Se preventiva essa può essere a sua volta di tipo Autonomo (AM); con intervento periodico (TBM); con logica predittiva (IR); ciclica (HBM), predittiva ma diversa dalla precedente (CBM). Diversamente agisce quella non pianificata che ripristina il componente alle sue originali funzioni, sostituendolo a rottura avvenuta.

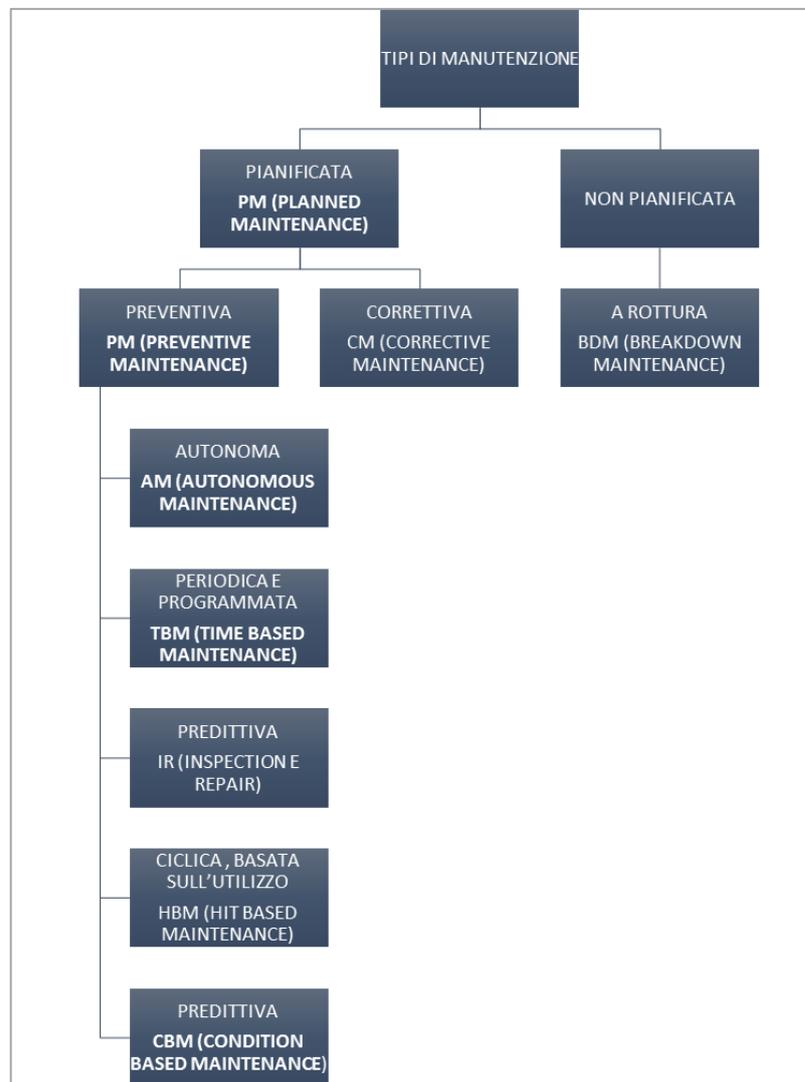


Figura 12:Tipologie di manutenzione.

- La Breakdown maintenance (BDM) viene adoperata alla rottura del componente. Questa scelta può essere effettuata qualora: il guasto non genera il fermo della macchina; il costo di una manutenzione preventiva è maggiore; non c'è un impatto in termini di sicurezza. La Figura 13 sintetizza tale tipo di manutenzione. Essa è raccomandata per episodi che si verificano con bassa frequenza, per cui quando la gravità dei guasti aumenta la manutenzione pianificata diventa necessaria.

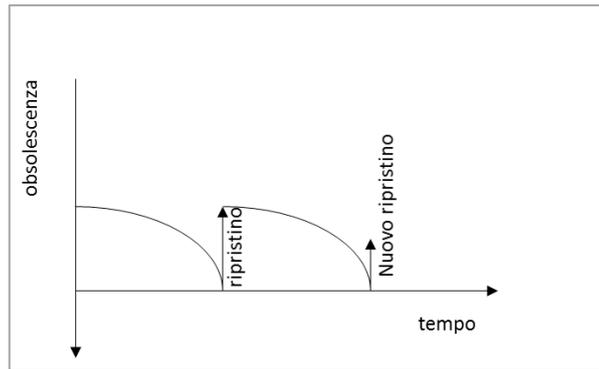


Figura 13: Breakdown maintenance (BDM).

I vantaggi derivanti da una scelta di questo tipo sono: bassi costi se correttamente allocati; non necessita di un piano programmato con scadenze precise per il cambio del componente ma solo disponibilità degli stessi in magazzino, utilizzo totale del pezzo fino al suo massimo stress, dunque la rottura. Gli svantaggi associati invece sono: non si hanno avvisi in anticipo sulla rottura del componente perché non si monitora né si programma una sua sostituzione prima della sua rottura; perdite produttive incontrollate; richiede del personale che deve attuare la sostituzione del pezzo.

- Lo scopo di Autonomous Maintenance (AM), è invece ridurre il numero di guasti dovuti alla mancanza delle condizioni di base. I temi sui quali interviene ed i problemi che cerca di risolvere sono: minor guasti; eliminare situazioni di lavoro non conforme alla funzione del dispositivo, dunque evitare un funzionamento anomalo; minori errori connessi al lavoro di macchine e dispositivi. I manutentori di AM sono lavoratori specializzati, addetti alla linea di produzione, che operano su ciascuna macchina. Essi hanno il compito di mantenere le condizioni della macchina ed i dispositivi nelle condizioni ottimali e ripristinarli all'occorrenza alle condizioni iniziali.
- La Time Based Maintenance (TBM) è un tipo di manutenzione che opera periodicamente, essa adopera cicli di manutenzione con frequenza schedulata in anticipo, agisce con interventi che evitano rotture e fermi macchina. Tale manutenzione è applicabile se i costi sono ovviamente minori rispetto al costo di ipotetici interventi a guasto. In Figura 14 si riporta un grafico, simile a quello mostrato in Figura 13, e si può notare che il ripristino delle attrezzature avviene prima del completo deterioramento.

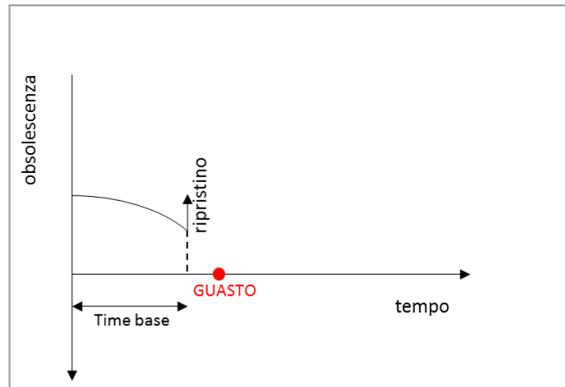


Figura 14: Time Based Maintenance (TBM).

È intuibile che un tipo di manutenzione del genere non è facilmente applicabile per la difficoltà nel predire una precisa frequenza di deterioramento delle condizioni standard e intuire una scadenza migliore per l'eventuale ripristino. I vantaggi derivanti dall'uso di TBM sono: ridurre guasti; avere un efficiente uso della manutenzione; attività pianificabili sia in termini di lavoro che di risorse. I difetti sono: la vita del componente non è pienamente sfruttata; un intervento precoce può anche causare guasti precoci (la cosiddetta "mortalità infantile"); alle volte non è necessario effettuare il ripristino nel tempo stabilito, potrebbe essere invasivo e non ancora necessario. Questo tipo di manutenzione è applicata prevalentemente dalla Legge, alle attrezzature soggette a controlli di sicurezza da parte dell'Ispettorato del lavoro.

- Nell' Inspection & Repair (IR) vengono fatte periodicamente delle ispezioni ai componenti e alle macchine soggetti ad usura. Grazie a tali ispezioni, si conosce se lo stato del componente è conforme o meno. È un tipo di manutenzione che si colloca come via di mezzo tra la TBM e la CM. È simile alla TBM perché l'ispezione ha cadenza periodica stabilita; è simile alla CM perché dopo l'ispezione si ha la possibilità di stimare se il componente è ancora utilizzabile o no, e se non lo è si effettua la Corrective Maintenance (CM). Lo schema logico da seguire è mostrato in Figura 15.

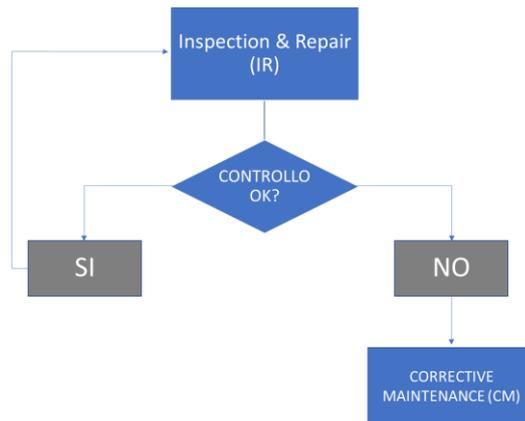


Figura 15: Inspection & Repair (IR).

- La Hit Based Maintenance (HBM) è simile alla TBM ma in questo caso il tempo che stima il momento di intervento non è basato su un calendario di giorni, mesi o anni di utilizzo ma sull'effettivo uso del componente. Per esempio, un componente è stato progettato per una vita utile di 12 mesi di effettivo lavoro. Se per qualche motivo dopo 6 mesi si ha una sosta, uno spegnimento della macchina, ed una ripresa dopo 2 mesi, sono passati 8 mesi ma il lavoro effettivo del componente è di 6 mesi, quindi posso programmare una manutenzione dopo 14 mesi anziché 12. Se non possiamo tener conto dell'effettivo utilizzo del componente ma solo del tempo trascorso il risultato è il seguente: se per ipotesi possiamo utilizzare un componente fino all'80% nella realtà non sarà così, lo sfrutteremo solo al 30% delle sue possibilità. Questo concetto è spiegato nella Figura 16. Grazie alla HBM si ha un sostanziale miglioramento. Infatti, non si tiene conto solo del tempo ma anche dell'utilizzo effettivo, del numero di pezzi prodotti, delle movimentazioni di utensili ed altro. Non si può però utilizzare la HBM per qualsiasi componente.

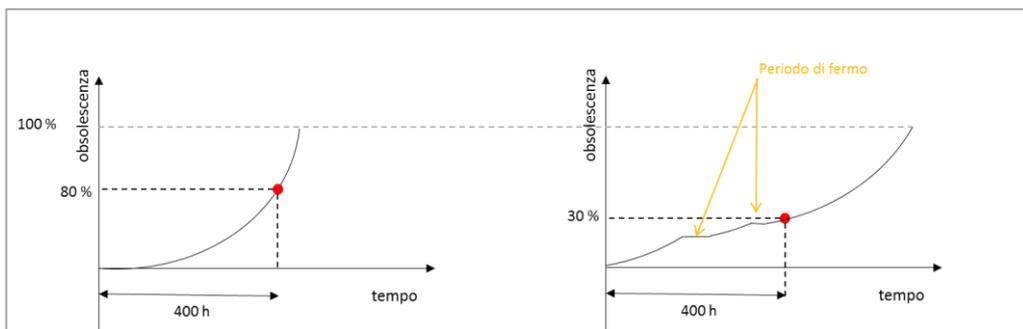


Figura 16: Non utilizzando una manutenzione di tipo Hit Based Maintenance (HBM) che agisce in base all'effettivo stato del componente, se si attua un intervento di manutenzione Time Based Maintenance (TBM) schedulato ogni 400 h, il consumo del componente sarà del 30% e non dell'80% poiché non si è tenuto conto dei periodi di fermo impianto.

➤ La logica che segue la Condition Based Maintenance (CBM) è la seguente. La maggioranza dei guasti non avviene istantaneamente, ma ci sono dei sintomi che suggeriscono ed avvisano in anticipo la futura rottura. Se il sistema è in grado di tenere sotto controllo tali segnali, la manutenzione di ogni singolo componente può essere realizzata in tempi giusti, prima che avvenga la completa rottura, la quale comporterebbe potenzialmente danni esterni al componente, comprometterebbe le funzionalità della macchina o addirittura si potrebbero verificare guasti in linea che creerebbero disagi non indifferenti. È possibile pianificare interventi manutentivi in base al reale utilizzo e non su base statistica. Per attuare la CBM, si devono conoscere e interpretare delle misure per capire lo stato di degrado dei componenti. Per esempio, in un motore si monitora la temperatura che ovviamente cresce quando l'attrito è molto alto; oppure le vibrazioni dovute all'usura di cuscinetti. Normalmente, nelle attuali macchine i segnali (sintomi) sono classificabili in cinque categorie:

- Emissioni acustiche e vibrazioni;
- Emissioni termiche;
- Emissioni dovute a flussi di raffreddamento e lubrificazione;
- Emissioni sul consumo energetico;
- Emissioni con effetto sul prodotto (non compromettono la qualità);
- Contaminazione di lubrificanti e refrigeranti.

Gli operatori che lavorano ogni giorno sulle macchine, possono attuare cambiamenti e migliorie in modo da ottenere modifiche in termini di rumore, vibrazioni, temperatura, ecc. Per capire la causa radice "root cause" sono poi necessarie analisi più approfondite. La CBM è applicabile, se il costo di ogni singola ispezione è minore di un'attività di tipo preventivo come può essere la TBM e se il costo di quest'ultima è inferiore ad una manutenzione di tipo BDM. I vantaggi adottando CBM sono molti: alcune forme di ispezione semplici utilizzano i 5 sensi e non sono costose e complesse; permette di fermarsi prima che si verifichino guasti con grandi danni; la manutenzione può essere pianificata e organizzata; i pezzi di ricambio possono essere forniti prontamente. Gli svantaggi risultano essere: analisi di alcuni parametri complessi come le vibrazioni, termografia e analisi degli oli richiedono specifici strumenti e competenze; le procedure devono essere scelte con cura; bisogna spendere un po' di tempo per costruire una tendenza caratteristica e stabilire un collegamento con le condizioni degli impianti; si richiede una buona conoscenza della macchina e dei suoi guasti. Il grafico in Figura 17 mostra la relazione tra la complessità (in termini di strumenti tecnici adoperati, conoscenza, ecc) ed i costi di investimento.

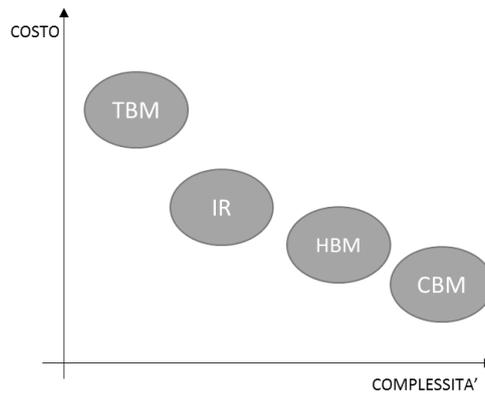


Figura 17: Relazione complessità-costi di alcuni tipi di manutenzione.

- La manutenzione correttiva (CM) mira a migliorare l'affidabilità della macchina. È usata per problemi ricorrenti o per debolezze progettuali. Quindi non è un tipo di manutenzione, ma un approccio da seguire, delle attività, durante la manutenzione al fine di migliorare la macchina. Viene effettuata in associazione ad AM e IR. Le attività correttive qualora necessarie possono essere pianificate seguendo le priorità (sicurezza, qualità) quando la macchina è bloccata (di notte, nel fine settimana, in pausa pranzo). Quindi le attrezzature, gli utensili e i ricambi sono preparati dal team di manutenzione per essere disponibili alla prima fermata. Dei "tag" sono selezionabili su delle schede tecniche prestampate e danno tutte le indicazioni possibili utili sull'anomalia verificatesi e sull'intervento da attuare. I vantaggi: Alcune modifiche dell'apparecchiatura possono essere economiche e funzionali; un problema serio o ricorrente può essere risolto trovandone la causa principale. Svantaggi: la vera causa del problema può essere fraintesa; alcune modifiche proposte possono essere costose e richiedono un periodo di inattività per implementarle; possono verificarsi problemi inattesi a causa del cambiamento; si potrebbe risolvere un problema in una zona ma può sovraccaricare e causare problemi in altre.

3.2 Classificazione delle macchine in Stabilimento

Sempre nel BoK (Book of Knowledge) del WCM relativo al pilastro PM [6] si classifica un macchinario in base ad un campo di appartenenza specifico. I livelli citati sono:

- AA, criticità elevate;
- A, critiche medie;
- B, basse critiche;
- C, marginali criticità.

Tali livelli sono utili a fare veloci distinzioni del parco macchine in Stabilimento, a definire le priorità di cui esse necessitano e ad ottimizzare l'utilizzo delle risorse (materiali, manodopera e budget disponibile). Per attuare questa distinzione la procedura da seguire è la seguente: per ciascuna macchina presente nel sito si deve esplicitare la perdita dovuta ai guasti e la si attribuisce a vari pilastri tecnici del WCM. Successivamente si isolano le perdite attribuibili alla sola PM. Infine, grazie al diagramma di Pareto creatosi, le macchine sono classificabili nei livelli sopra citati. Le priorità dovrebbero essere focalizzate dapprima sulla macchina di livello AA, definita “macchina modello”, che rappresenta la maggior fonte di perdita rispetto alle altre. Le successive attività dovrebbero essere fatte sulle macchine che dopo la AA generano le più alte perdite; in definitiva l'ordine è: AA, A, B, C.

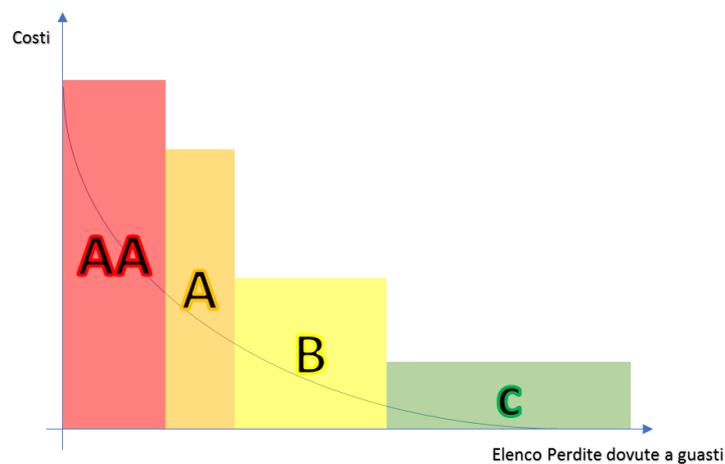


Figura 18: Perdite per guasti attribuibili al pilastro PM, individuazione di macchine di livello AA, A, B, C.

La corretta assegnazione delle priorità aiuta, dunque a focalizzare la manutenzione e le risorse. Una classificazione aggiuntiva può essere effettuata in base ad altri livelli, non di criticità ma, di contromisure che possono essere attuate.

- Livello Reattivo: contromisure realizzate dopo un evento;
- Livello Preventivo: contromisure realizzate sulla base dello storico e dell'esperienza al fine di evitare la ripetizione dello stesso evento;
- Livello Proattivo: contromisure mirate ad evitare che un evento avvenga sulla base di un'analisi teorica del rischio.

La fase reattiva è completata quando le perdite per guasti dovuti alla mancanza di manutenzione sono stati drasticamente ridotti grazie alle attività di PM secondo le priorità assegnate originariamente dalla distribuzione dei costi. La fase preventiva usa l'esperienza acquisita nella fase precedente al fine di prevenire tali perdite.

Una nota negativa è da sottolineare: la distribuzione dei costi come in Figura 18, purtroppo, non è in grado di fornire una base solida per la ripartizione delle priorità. Quello che si potrebbe fare in più è classificare le macchine secondo parametri statistici (probabilità e impatti dei guasti) ottenuti grazie allo storico dei dati; definire le criticità della macchina, in termini di qualità, ambiente, costo, ecc., ma soprattutto in termini di impatto che potrebbe avere la macchina se avvenisse un arresto sulla linea di produzione. Il metodo che con attenzione scruta queste caratteristiche non comprese nella sola distribuzione dei costi, viene chiamato in letteratura: *PQDCS&M*. Esso si serve di sei canoni di valutazione, che non sono altro che le ripercussioni che il guasto ha prodotto sui vari temi forti della Fabbrica: incidenze sulla produzione (P); influenza sulla qualità (Q); impatto sui costi (C); impatto sulla consegna, delivery (D); influenza sulla sicurezza e ambiente (S); senso di partecipazione e coinvolgimento delle persone nelle loro attività quotidiane, man (M).

3.3 Definizione di guasti

“Guasto” è una parola usata comunemente nel linguaggio di Stabilimento in riferimento ad un fermo macchina che ha avuto un tempo di arresto di una durata maggiore ai 10 minuti. Differente è un “arresto”, un’interruzione breve (micro-fermi), una breve sospensione che ha una durata minore ai 10 minuti.

Le principali possibili cause di guasti sono: deterioramento; stress eccessivo; robustezza insufficiente.

“Con il termine Deterioramento si intende la diminuzione delle capacità della macchina durante il passare del tempo, a causa di:

- Mancanza di condizioni di base (pulizia, lubrificazione, serraggio, ecc.).
- Condizioni operative (velocità, pressione, ecc).
- Insufficienti competenze degli operatori o manutentori di gestione/conduzione dell'attrezzatura;
- Influenze esterne dovute a fattori ambientali quali ad esempio temperatura e umidità.

Uno stress eccessivo a cui può essere esposta la macchina può essere dovuto a:

- Condizioni operative (velocità, pressione, ecc.);
- Mancanza di ripristino di anomalie;
- Insufficienti competenze degli operatori o manutentori del gestione/conduzione dell'attrezzatura;

- Influenze esterne dovute a fattori ambientali come le vibrazioni.

La robustezza insufficiente potrebbe derivare dal fatto che la macchina non resiste allo stress e alle forze applicate nelle normali condizioni di lavoro dovute:

- Design debole della macchina;
- Influenze esterne dovute a fattori come inadeguati ricambi;
- Mancanza di competenze nella fase di produzione/installazione.

Per ciascuna causa di guasto è possibile intervenire con azioni correttive al fine di evitare che si ripeta lo stesso problema” [6].

Ogni causa o più cause di guasto possono pertanto essere state scaturite da condizioni critiche, influenze esterne, condizioni di lavoro dei conduttori, errori progettuali della macchina o dei componenti, carenza di mantenere condizioni che garantiscono un funzionamento idoneo. Nella Figura 19 si mostrano le cause dei guasti legati a sua volta a più cause scatenanti e legate al pilastro tecnico di attinenza.

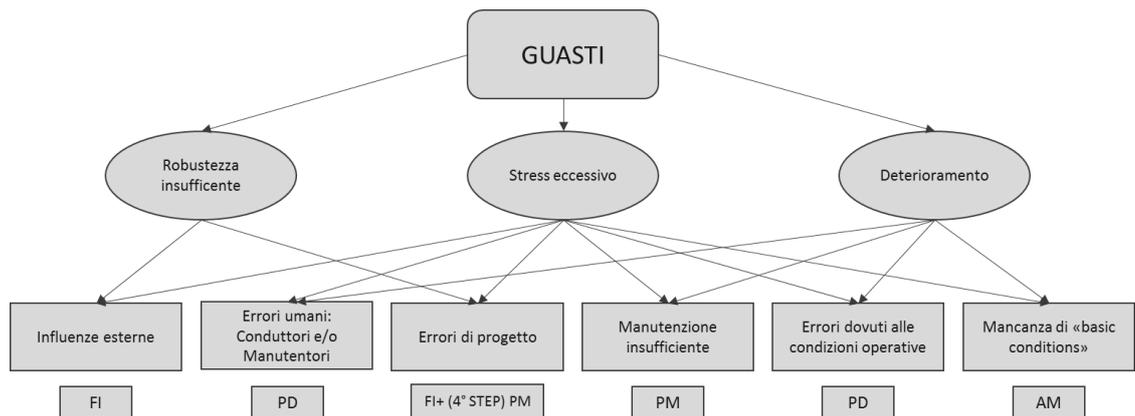


Figura 19: Per ogni possibile causa di guasti ci sono più possibili cause scatenanti che a loro volta possono essere associate al pilastro tecnico del WCM di riferimento.

4 Caso di studio: Evoluzione dello stato di degrado del componente meccanico

4.1 Stabilimento di Suzzara, CNH Industrial (Brand Iveco)

Lo Stabilimento di Suzzara è tra i più moderni e competitivi del gruppo CNH Industrial, situato in Italia nella Provincia di Mantova (MN), produce il nuovo Daily euro 6 e tutta la sua gamma che annovera molte varianti (oltre 10.000).

L'impianto si affida ai processi di World Class Manufacturing per organizzare l'alto livello di complessità che deriva dalla produzione del suo prodotto e di tutte le sue diversificazioni. Il sito ha importato la metodologia nel 2007 e in soli cinque anni ha ottenuto la certificazione Silver, che testimonia gli elevati livelli di qualità che offre e garantisce al cliente finale.

Iveco ha investito, nelle strutture e macchinari del Plant, per incrementare ulteriormente la sensibilità alla domanda dei mercati ed essere ancora di più concorrenziale.



Figura 20: Stabilimento, unità produttive [7].

Analizzando in dettaglio la manutenzione, gli *obiettivi* della Fabbrica sono abbastanza chiari e sono in allineati alle reali potenzialità:

- Nessuna perdita dovuta alla mancanza di manutenzione;
- Riduzione delle perdite per guasto impianto;
- Riduzione della manutenzione.

Le *esigenze* riscontrate e da colmare risultano essere:

- Ridurre i guasti al fine di migliorare l'efficienza e le condizioni delle macchine;
- Ridurre i costi di manutenzione;
- Aumentare la manutenzione predittiva;
- Aumentare l'uso di strumenti tecnologicamente avanzati;
- Il totale coinvolgimento e diffusione dei principi del WCM.

Sintetizzando la *visione futura* nel campo della manutenzione, risulta essere:

- Aumentare l'efficienza delle macchine;
- Tendere allo zero guasti;
- Avere un sistema di produzione senza interruzioni, al fine di soddisfare le esigenze dei clienti in tempo;
- Seguire i principi dell'Industria 4.0;
- Target di riduzione del 25% per le perdite rispetto il 2017 e diminuire la manutenzione straordinaria del 10%.

Ovviamente tutto questo con scenari di breve, medio e lungo periodo. Giornalmente le attività che coinvolgono il Team di manutenzione sono tante e spaziano da meeting nei Lab dedicati, che coinvolgono il Plant Manager e i capi Team delle unità operative. Le riunioni giornaliere sono dedicate ad analizzare i dati sensibili raccolti e si svolgono in diversi luoghi coinvolgendo anche i membri dei team ed i tecnologi. Settimanalmente Il team si riunisce per rivedere contromisure, cicli, fornire nuove idee. Mensilmente si rivede insieme alle figure principalmente interessate, in una Compass room, l'allineamento del Pilastro PM in modo globale e qui vi partecipano anche le persone del WCM Central Team in conference call.



Figura 21: Organizzazione attività [7].

Dal 2007 al 2018 il Pilastro PM (Professional Maintenance) ha attuato un percorso progressivo di miglioramento seguendo la teoria del WCM raggiungendo un livello 4 su una scala quotata al massimo 5.

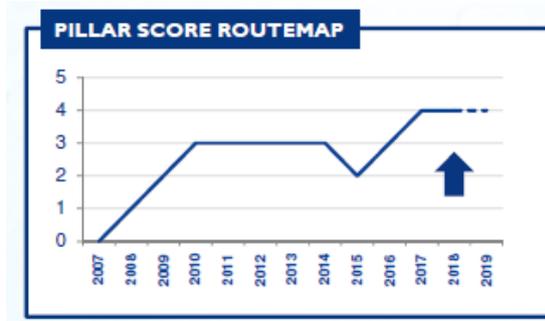


Figura 22: "Routemap" del Pilastro PM dal 2007 al 2018 [7].

4.2 Componente meccanico: Conduttore flessibile

Il componente che si è voluto analizzare nello Stabilimento, è un Conduttore flessibile denominato comunemente "Pacco lamellare", per via della sovrapposizione di sottili lamelle di rame che lo compongono.

Esso si trova nell'Area Welding-Lastratura dove viene montata la scocca. Fonte di non poche perdite economiche a causa del suo costo sufficientemente alto, il componente è sostituito prima che avvenga un collasso improvviso, che causerebbe eventuali danni alla macchina. Per cui viene sostituito in base alla durata prevista dalla casa produttrice e non in base alla sua reale condizione fisica. Il conduttore è inglobato a vista nella struttura di tutti i robot di saldatura a punti, vicino la pinza di saldatura, ed è facilmente distinguibile. Si trovano 2 componenti per robot.

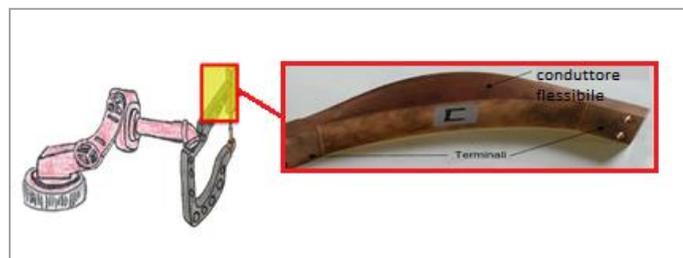


Figura 23: Conduttore flessibile

Nell'area della Lastratura si distinguono varie unità operative parzialmente e totalmente automatiche (completamente robotizzate), infatti troviamo robot

antropomorfi su slitte, robot cartesiani, trasportatori, tavole elevatrici, e molto altro, tra cui sensori intelligenti per l'analisi dati ed il continuo monitoraggio. Tutto coopera e collabora in armonia. Qui si adottano diversi processi di saldatura ed incollaggio per poter assemblare i diversi componenti della scocca del Daily.



Figura 24: Alcuni "Numeri" in Lastratura [7].

Le unità operative sono diverse, poiché in ciascuna di esse avvengono operazioni differenti. Si mostra nella Figura 25 sottostante la suddivisione delle aree. La stazione analizzata sarà la OP.60; tale stazione è definita anche "Robogate" e come altre ha un processo automatico altamente complesso e che riveste un peso notevole, a dir poco strategico. Essa è caratterizzata da un'unica linea robotizzata in cui ritroviamo 18 robot che per eseguire l'intero processo di saldatura, questi si alternano tra loro utilizzando fino a 33 pinze di saldatura.

Per garantire un elevato standard qualitativo la geometria della scocca è garantita da più di 550 bloccaggi automatici. Il sistema è dotato di bilancelle (gate) che, quando si passa da un modello di scocca ad un'altra, si predispongono automaticamente senza interrompere la cadenza produttiva.

Per comporre i veicoli di dimensioni più grandi sono richiesti circa 5 minuti, mentre per quelli di dimensioni più ridotte circa 3 minuti. I vari componenti seguono un percorso che si snoda tra bilancelle, tavole a rulli, tavole elevatrici, portali e robot antropomorfi su slitte.

Analizzando la Figura 25 dove vengono mostrate le unità operative che si succedono in Lastratura, si può notare che linea è composta da 10 postazioni di lavoro e classificati in 4 gruppi:

1. Stazioni di ingresso componenti: OP.05-10
2. Stazioni di saldatura automatica: OP.20-30-60-70

3. Stazioni di saldatura manuale: OP.40

4. Stazioni Buffer: OP.15-25-50

Si escludono le Unità operative evidenziate in rosso nella Figura 25 per rendere più snella la Figura 26 dove si sottolineano solo le Unità operative che contengono operazioni di saldatura.

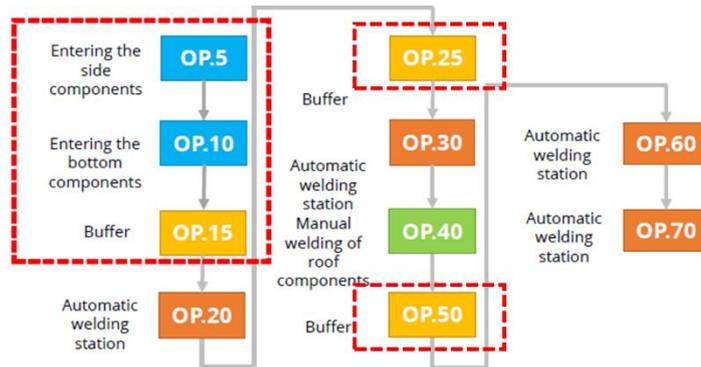


Figura 25: Unità operative, Linea Lastratura.

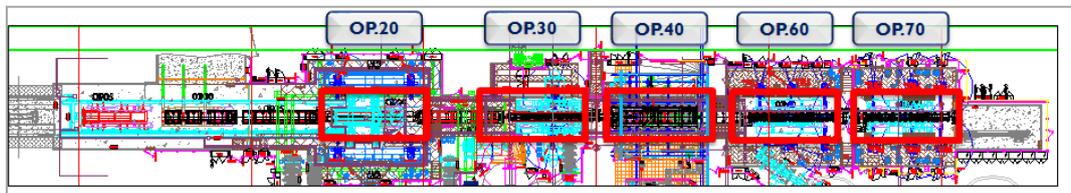


Figura 26: Unità operative area Lastratura, stazioni di saldatura manuale e automatica [7].

4.3 Operazione: saldatura per resistenza a punti (Robot OP60 R05 linea Mascherone)

“La saldatura è un procedimento tecnologico che realizza il collegamento continuo di due o più elementi metallici, tramite una continuità fisica. Per continuità fisica si intende il permanere delle stesse caratteristiche in ogni punto della struttura realizzata. Esistono altri tipi di collegamento che non danno però origine ad una continuità fisica (chiodatura, bullonatura, rivettatura, incollaggio)”. [8]

“La saldatura per resistenza è una tipologia di saldatura molto diffusa. Un flusso di corrente, per un tempo sufficiente, attraversa l’area del metallo che deve essere unita, la contemporanea applicazione di una pressione e l’apporto di calore fornito dal passaggio della corrente fanno sì che avvenga l’unione. Il vantaggio principale è che nessun materiale

esterno è necessario per creare il legame, questo rende il processo estremamente conveniente” [9].

Esistono diverse forme di saldatura a resistenza che differiscono maggiormente per i modelli e le configurazioni degli elettrodi di saldatura impiegati, per applicare la pressione e condurre la corrente. Gli elettrodi, tipicamente prodotti da leghe di rame per le proprietà conduttive superiori, sono raffreddati dall'acqua che scorre attraverso le cavità all'interno dell'elettrodo.

Le saldatrici a resistenza sono progettate e costruite per un'ampia gamma di applicazioni automobilistiche, aerospaziali e industriali. Grazie all'automazione, l'azione di queste macchine è altamente controllata e ripetibile consentendo ai produttori di preparare prontamente la produzione.

“Resistance Spot Welding” comunemente nota come saldatura per punti, utilizza le geometrie degli elettrodi di saldatura per focalizzare la corrente saldatura nella posizione di saldatura desiderata, nonché per applicare una forza di pressione ai pezzi.

La saldatura automatizzata ha fatto molta strada ed è molto più facile da imparare di quanto fosse una volta. I lavoratori con esperienza di saldatura limitata possono essere rapidamente addestrati a utilizzare celle di saldatura robotiche, poiché una quantità significativa delle competenze richieste per la saldatura manuale viene gestita dal robot. La saldatura robotizzata e le operazioni automatizzate vengono utilizzate come supplemento e non come sostituti per la forza lavoro. Man mano che il divario di competenze peggiora, le aziende si affidano a questa intelligenza artificiale per riempire buchi nella forza lavoro per i quali queste aziende non riescono a trovare umani con le competenze necessarie.

Questi robot di saldatura sono un ottimo modo per migliorare l'efficienza della produzione se l'azienda può permetterselo, ma ciò non significa che ogni attività debba essere automatizzata. Le operazioni di produzione fuori celle, le saldature che i robot non riescono a raggiungere e quelle con spazio limitato sono solo alcune delle attività che sottolineano l'importanza costante dei processi di saldatura semiautomatica e manuale.

La saldatura a punti è stato il tema di alcune ricerche scientifiche già affrontate in passato [10]. Le analisi erano rivolte per lo più alle grandi pinze di saldatura utilizzate ma non escludevano un lavoro dettagliato fatto sui diversi componenti della stessa al fine di individuare gli elementi più complessi, spunto di riflessioni a parte.

La caratterizzazione dei componenti è stata intrapresa a livello sperimentale utilizzando grandezze e proprietà elettriche anche durante il funzionamento dello strumento.

Per prima cosa, in tali studi [10], essenziale è stato capire il tipo di sistema di alimentazione utilizzato se a corrente continua o alternata. Lo schema tecnico nei due casi

differisce a monte del trasformatore poiché bisogna tener conto del lavoro svolto. A cambiare nei due casi non è solo lo schema circuitale ma anche l'andamento qualitativo della corrente. In base ad esiti, già valutati da altre indagini [10], a parità di prestazioni del giunto saldato il comportamento energetico della tecnica a corrente alternata è decisamente preferibile. Il rendimento complessivo delle due tecniche invece, si è migliorato studiando i singoli componenti, costituenti il corpo della pinza. Si è valutato il componente più critico. Le parti analizzate sono state: il conduttore di rame che funge da collegamento tra il trasformatore di alimentazione ed il braccio della pinza (ad essere precisi ci sono tre conduttori di rame tra cui due rigidi ed uno flessibile); il braccio stesso della pinza ed infine l'elettrodo di saldatura. Il conduttore flessibile risulta quello più sollecitato elettrodinamicamente durante il funzionamento.

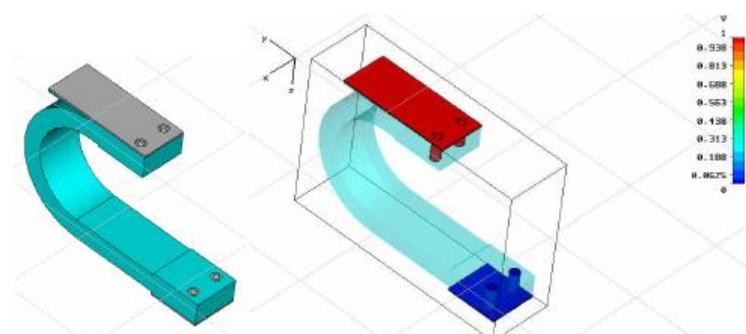


Figura 27 Potenziale elettrico applicato agli estremi del conduttore flessibile [10].

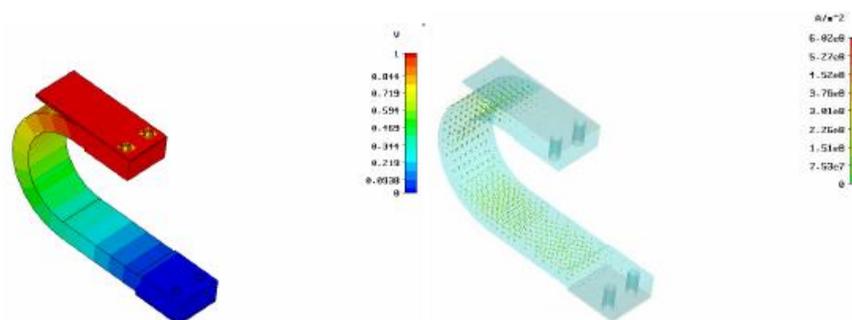


Figura 28 Distribuzione del potenziale elettrico (a sinistra) e densità di corrente (a destra) sul conduttore [10].

4.4 Step 4 di PM, allungamento della vita utile riducendo gli stress

I componenti principali, oltre i due panchi lamellari, presenti sul Robot di saldatura risultano essere: il motore di apertura/chiusura pinza; il trasformatore; due portaelettrodi, due elettrodi, il braccio della pinza.

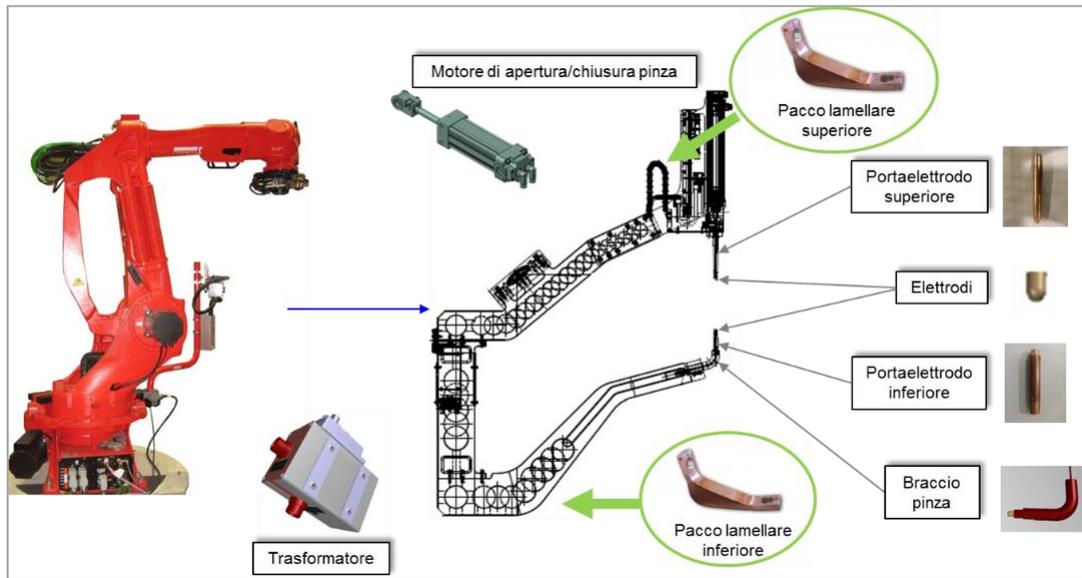


Figura 29: Componenti principali del Robot di saldatura a punti

Come si è accennato, si è analizzato il conduttore presente sul Robot R05 della stazione operativa OP60, linea mascherone.

Si è cercato per prima cosa di capire se fosse possibile una modifica progettuale mirata ad ottenere una maggiore durata del componente. Dunque, se si pensa ai 7 step della PM del sistema WCM, ci ritroviamo ad elaborare un caso studio che rientra nello step 4.

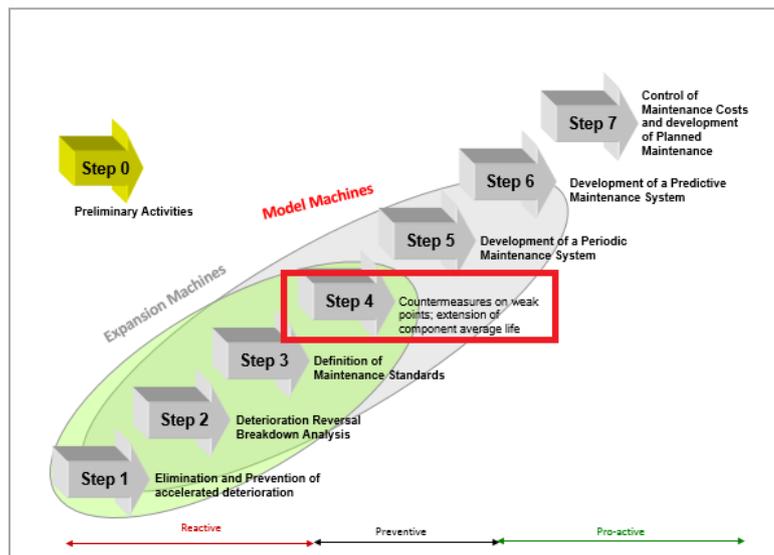


Figura 30: Step 4 PM, allungamento vita del componente diminuendo gli stress esterni a cui è soggetto

La sostituzione del componente avveniva ogni sei mesi. Si attuava una manutenzione di tipo TBM (Time Based Maintenance).

Il dettaglio dei costi del componente è elencato di seguito. Riassumendo i costi annuali per la singola allocazione di un conduttore risultano essere:

- Costo dei 2 componenti necessari a completare il ciclo di 12 mesi = 1600 €
- Costo manodopera MDO (2 interventi) = 100 €
- Tot. = 1700 €

Si quantificano nella Figura 31 i costi annuali sul robot OP60 R05:

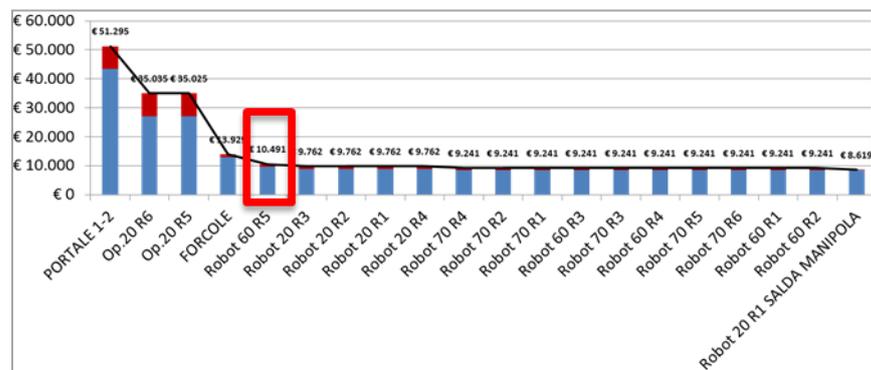


Figura 31: Costi annuali Robot esaminato, di poco superiori a 10.000 €.

Esplicitandoli ulteriormente, si nota come i maggiori costi annuali sono sulla pinza di saldatura (Figura 32).

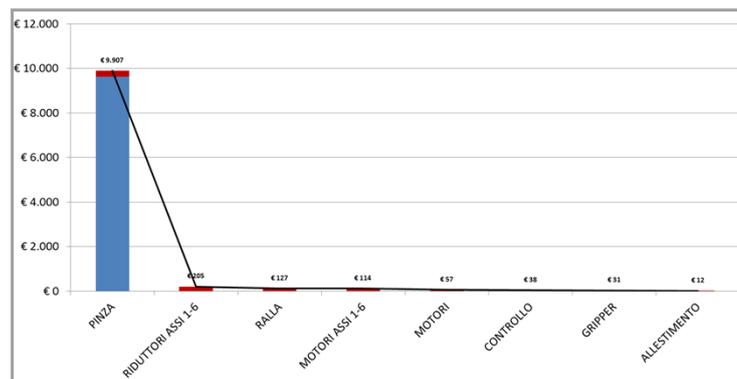


Figura 32: Dettaglio dei costi sul Robot OP60 R05

La sostituzione dei conduttori o pacchi lamellari dopo quella del trasformatore è la perdita che incide maggiormente (Figura 33).

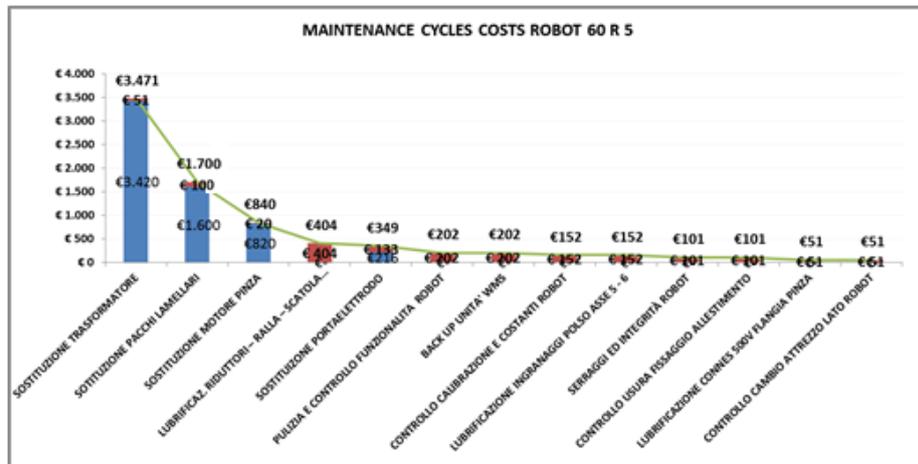


Figura 33: Costi manutenzione Robot OP60 R05, il costo per la sostituzione dei pacchi lamellari è il maggiore dopo quello relativo al trasformatore.

Da questa analisi costi, il componente ideale da analizzare è il conduttore flessibile.

Durante la lavorazione, a motore acceso, si è notato che il esso urtava (o meglio si “schiacciava”) contro il carter inferiore del suo alloggiamento provocandone un danneggiamento.

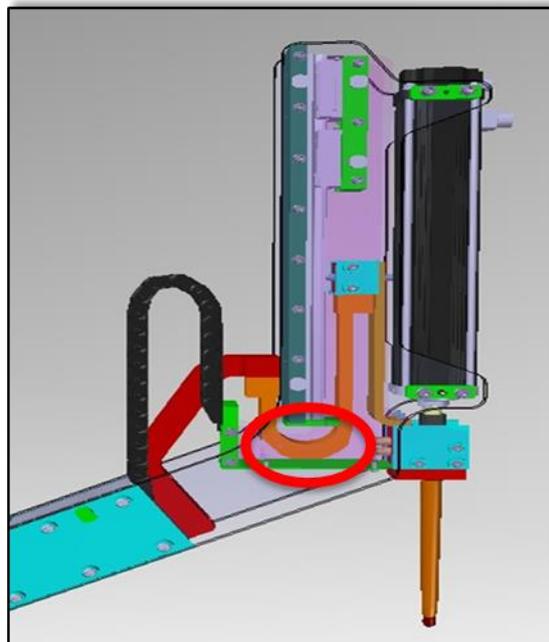


Figura 34: Conduttore che urtava durante la movimentazione del Robot sul carter inferiore.

Si è optato per una modifica progettuale (attuata in stabilimento) abbastanza semplice, vale a dire una modifica dello spessore del carter in modo che il componente non vada mai

a contatto con esso, né in movimento né a macchina spenta. Si è evitato così un deterioramento ed un'usura anticipata dovuta ad una non idonea installazione, riuscendo ad estendere la sua durata da sei mesi a un anno.

Nella seguente Figura 35 si mostra un prima e nella Figura 36 un dopo.



Figura 35: Carter PRIMA della modifica.

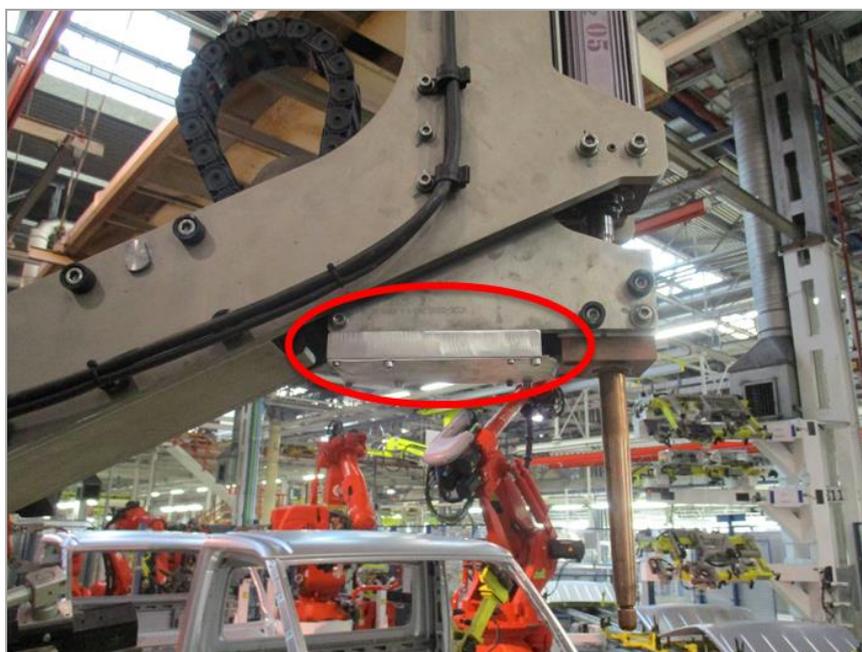


Figura 36: Carter DOPO la modifica.

I costi della modifica sono stati bassi, di soli 30 €. Tale modifica è stata comunicata alla casa costruttrice del Robot (Comau). I benefici economici raggiunti da tale agevole manovra sono stati notevoli poiché, attuando uno stesso tipo di manutenzione (TBM) la durata del componente è stata posticipata a 12 mesi. Si ha un solo componente da sostituire annualmente ed una sola azione di sostituzione con costi totali di (800 € +50 € = 850 €).

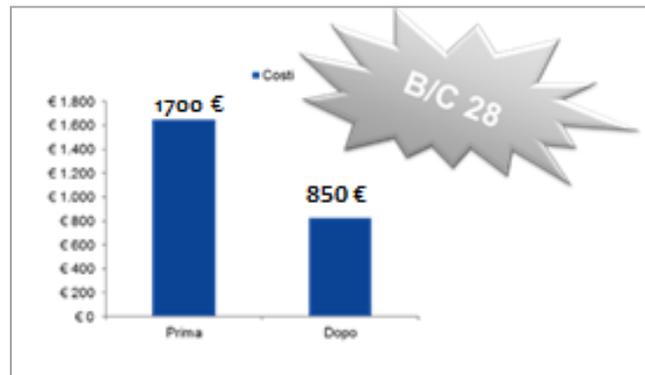


Figura 37: Analisi B/C dell'intervento.

4.5 Step 6 di PM, monitoraggio della resistenza elettrica

I conduttori flessibili sono utilizzati in tutte le applicazioni industriali, dove sono in gioco alte correnti. Realizzati in lamine di rame o alluminio che permettono una grande flessibilità e conducibilità.

Il collegamento tra il trasformatore di alimentazione ed il braccio della pinza è realizzato mediante il conduttore, dunque esso garantisce la connessione durante il movimento della pinza. È composto da tante strati che lo rendono particolarmente delicato sia per le sollecitazioni elettrodinamiche a cui sono sottoposte le diverse lamine durante il funzionamento della pinza, sia per la ripartizione della corrente tra diverse lamine che deve essere la più omogenea possibile.

Nella Figura 38 si mostra il percorso della corrente ed il valore di resistenza misurato.

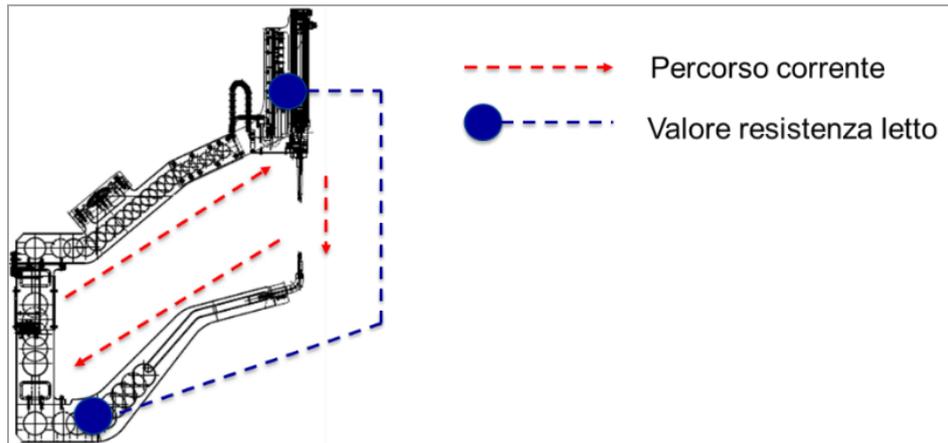


Figura 38: Percorso corrente e resistenza.

“La seconda legge di Ohm afferma che la resistenza di un conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed inversamente proporzionale alla sua sezione”. Dunque, se diminuisce la sezione del conduttore aumenta la resistenza.

R – resistenza elettrica del conduttore;

ρ – resistenza specifica o resistività del materiale;

L – lunghezza del conduttore;

A – area della sezione del conduttore

Si definisce:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

La resistenza deriva, inoltre, dalla natura del materiale: qualsiasi materiale ha la sua resistenza specifica (ρ). Resistenza e resistività sono influenzata dalla temperatura.

Resistivity

$R = \frac{V}{I} = \rho \left(\frac{L}{A} \right) [\Omega]$
 $\rho = \frac{V}{I} \left(\frac{A}{L} \right) [\Omega \cdot \text{cm}]$

V : voltage (V)
p : resistivity ($\Omega \cdot \text{cm}$)
I : current (A)
A : cross-sectional area (cm^2)
R : Resistance (Ω)
L : length (cm)

RESISTIVITÀ DI ALCUNE SOSTANZE (A 20 °C)

Sostanza	Resistività ($\Omega \cdot \text{m}$)
alluminio	$2,8 \times 10^{-8}$
argento	$1,6 \times 10^{-8}$
ferro	10×10^{-8}
mercurio	96×10^{-8}
nichel	$7,9 \times 10^{-8}$
platino	10×10^{-8}
rame	$1,7 \times 10^{-8}$
carbonio	$3,5 \times 10^{-8}$
germanio	0,46
silicio	100 – 1000
neoprene	10^9
polietilene	$10^8 - 10^9$
polistirene (polistirolo)	$10^7 - 10^{11}$
porcellana	$10^{10} - 10^{12}$
vetro	$10^{10} - 10^{14}$
teflon	10^{14}

Figura 39: Legge di Ohm e resistività.

La strada che si è voluta intraprendere, pensata da tempo, è di studiare e monitorare la resistenza. Si è utilizzato un software di analisi saldatura per determinare il punto critico, ossia quel valore di resistenza di soglia allarme oltre il quale risulta critico lavorare.

Si è stimato, da test precedenti, che per un corretto funzionamento del componente la resistenza non superi i 315-330 $\mu\Omega$. Oltre questo valore (considerato una soglia di allarme) è opportuno sostituire il conduttore.

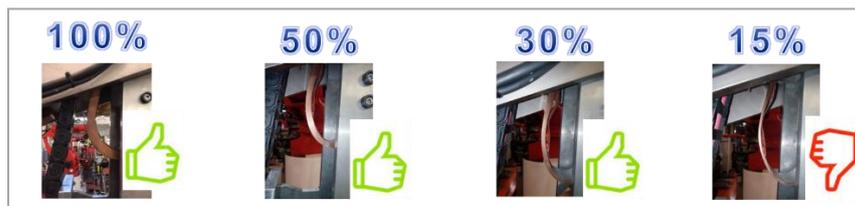


Figura 40: Monitoraggio di un componente nuovo fino al valore di resistenza critico, valore oltre il quale si sostituisce il conduttore.

Monitorando i valori di resistenza si riesce a passare da una manutenzione di tipo TBM (Time Based Maintenance) a CBM (Condition Based Maintenance). Il sistema che permette di monitorarne l'andamento è il WQS (Welding Quality System). Con tale software si è in grado di valutare quantitativamente, in tempo reale, la variazione di resistenza dovuta all'usura del pacco lamellare e valutare interventi di sostituzione per non giungere a guasti. I valori sono all'interno del programma WQS e possono essere esportati in un foglio Excel in modo che avendo a disposizione anche le date di acquisizione dei dati si capisce bene come varia la resistenza nel tempo.

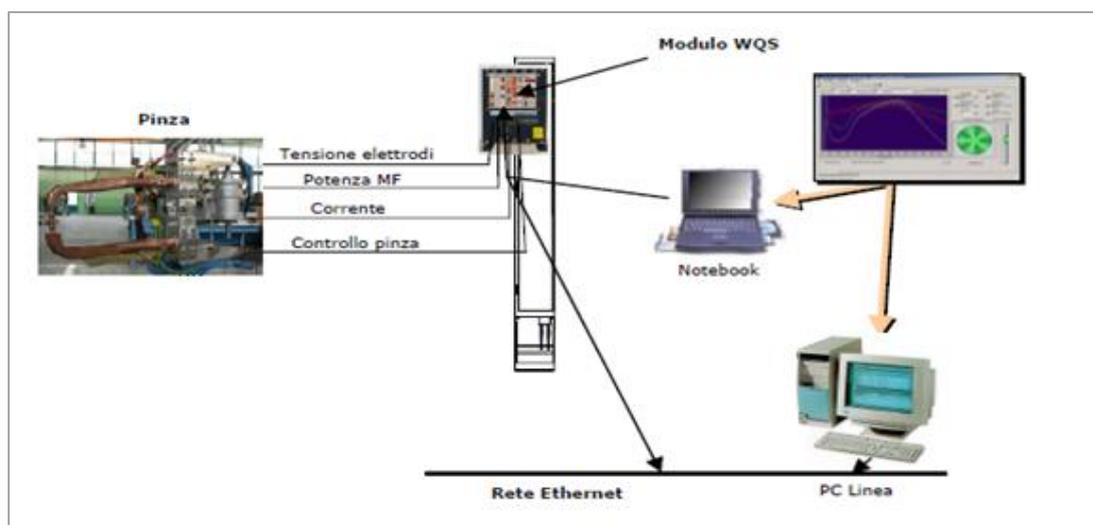


Figura 41: Monitoraggio resistenza con programma WQS.

Riepilogando secondo una logica PDCA consona al linguaggio usato nel WCM:

- Plan: L'idea era quella di portare il pacco lamellare fino a fine vita utile per ridurre i costi di manutenzione. Misurandone costantemente il valore di resistenza.
- Do: Si è studiato inizialmente un campione (un pacco lamellare) per determinare le soglie di allarme; successivamente è stato montato un componente nuovo e si è iniziato uno studio di CBM.
- Check: Si è in fase controllo dei valori di resistenza e si attende un consumo del 70% del componente per verificare che esso abbia un'aspettativa di vita maggiore.
- Act: Al termine della verifica se si riuscirà a raggiungere un risultato adoperando l'uso di tools e metodi di indagine più precisi, l'attività verrà estesa alle quattro pinze con medesime peculiarità per limitare ulteriormente i costi di manutenzione.

4.6 Analisi dati e difficoltà di applicazione della Predictive Maintenance per questo componente

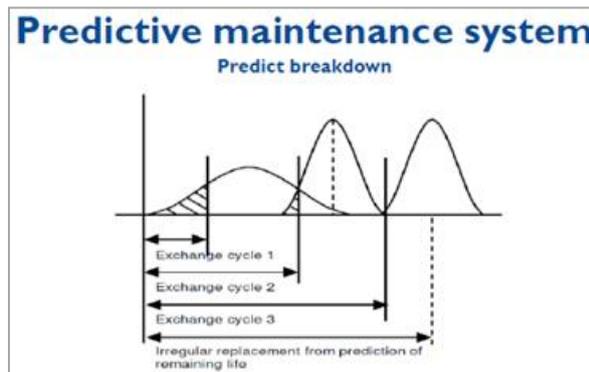


Figura 42: Predictive Maintenance per allungare la vita del componente e stimarne più precisamente la durata.

L'osservazione e lo studio del fenomeno, nel periodo in cui si è potuto indagare, non hanno portato a dati degni di una successiva rielaborazione in ottica di manutenzione predittiva completamente sviluppata; ma si sono analizzati in maniera preliminare i dati raccolti. Appunto per questo, non c'è stata una conclusione certa e una standardizzazione del progetto ad altri casi simili.

Dall'Excel estrapolato dal software WQS, nel periodo della raccolta dati di cui si ha traccia, non si sono manifestati particolari trend che potessero aiutare un'analisi predittiva conseguente, ma si sono succeduti solo valori accettabili sotto soglia allarme (Tabella 1).

Come si vedrà in dettaglio dall'andamento della curva riportata di seguito in Figura 43, nella fase temporale di circa cinque mesi, le misure di resistenza media registrate sono perfettamente nei limiti, al di sotto del valore di allarme dei 315-330 $\mu\Omega$; esse, tuttavia, aprono uno scenario di critica non scontato con alcuni punti di riflessione importanti.

Infatti, le rilevazioni non presentano un andamento preciso, crescente, sintomo di un'usura del componente, ma i dati oscillano molto e addirittura tendono a diminuire, lasciando non poche perplessità. Si ha a disposizione 360 misure della resistenza ed è possibile osservare come questa tenda a decrescere man mano che il pacco lamellare viene usato, stabilizzandosi poi intorno a valori di circa 300 $\mu\Omega$. Questo comportamento è opposto a quello individuato in precedenza come rappresentativo del degrado del componente: nei dati ricevuti in precedenza la resistenza media cresceva con il degrado (seguendo le leggi fisiche), fino al raggiungimento della soglia, limite inferiore, di 315 $\mu\Omega$, considerata indicativa di un componente da rimuovere. Non è escluso che tale comportamento "anomalo" sia dovuto alle attività manutentive fatte sul robot nel periodo di raccolta dati (Tabella 2), che però non sembrano essere relative al pacco lamellare, e non direttamente legate ad altre circostanze (ad esempio carico di lavoro) riconducibili ad esso; in ogni caso, non sembra pensabile dai soli dati forniti estrapolare modelli significativi e attuare analisi predittive.

Inoltre, è possibile osservare come il "rumore di misura", ovvero la definizione data alle oscillazioni del valore di resistenza che si osservano tra misure consecutive, sia ancora molto alto rispetto al range di variazione della resistenza attraverso tutta la vita del componente nel campione di dati acquisito (questo può essere rilevato anche visivamente dalla Figura 42). Per questi motivi, si potrebbe dare seguito ad uno studio sistematico del problema affidato a enti esterni, per identificare le modalità di avere misure meno rumorose ed identificare pattern di degrado significativi utili allo sviluppo di modelli per analisi predittive.

Tabella 1: Dati estratti dal programma WQS, valori dei Resistenza misurata nel periodo tra il 26/09/2017 al 08/03/2018

Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]	Data e ora	R [$\mu\Omega$]
26/09/2017 16:12	300,1	02/10/2017 07:52	304,7	02/11/2017 10:20	305,7	01/12/2017 04:25	300,1	09/01/2018 06:14	301,7	01/02/2018 05:34	299,5	01/03/2018 05:27	298,4
27/09/2017 20:16	305,8	02/10/2017 14:01	307,7	02/11/2017 14:18	302,4	01/12/2017 09:41	304	10/01/2018 09:34	302,15	01/02/2018 09:44	299,2	01/03/2018 09:07	298,2
28/09/2017 02:55	300,9	02/10/2017 18:10	309	02/11/2017 17:41	303,6	01/12/2017 13:10	301,2	11/01/2018 11:43	304,1	01/02/2018 13:14	300,1	01/03/2018 13:07	299,7

28/09/ 2017 03:08	303	03/10/ 2017 06:07	305,2	02/11/ 2017 23:32	301,2	01/12/ 2017 17:48	301,6	11/01/ 2018 14:26	300,2	01/02/ 2018 17:44	303	01/03/ 2018 16:15	302,2
28/09/ 2017 08:44	300,6	03/10/ 2017 10:53	305,8	03/11/ 2017 03:17	302,2	02/12/ 2017 00:06	301,5	12/01/ 2018 17:12	305,3	01/02/ 2018 23:10	301,8	01/03/ 2018 22:39	300,1
28/09/ 2017 13:24	306,8	03/10/ 2017 16:45	307,1	03/11/ 2017 07:40	307,3	02/12/ 2017 12:01	299,8	12/01/ 2018 21:21	300,1	02/02/ 2018 09:14	301	02/03/ 2018 03:15	301,4
28/09/ 2017 16:51	307,6	03/10/ 2017 22:22	306,1	03/11/ 2017 12:44	302,7	04/12/ 2017 09:03	302,9	13/01/ 2018 03:54	299	02/02/ 2018 13:56	299,2	02/03/ 2018 10:02	300,5
28/09/ 2017 22:01	308,2	04/10/ 2017 08:34	307	03/11/ 2017 16:09	304,2	04/12/ 2017 13:19	302,3	13/01/ 2018 22:41	302,2	02/02/ 2018 19:36	302,7	02/03/ 2018 13:14	302
29/09/ 2017 08:11	308,1	04/10/ 2017 13:50	308,7	03/11/ 2017 22:05	300,4	04/12/ 2017 17:57	302,8	15/01/ 2018 04:10	302,3	05/02/ 2018 05:34	300,1	02/03/ 2018 18:26	302,3
29/09/ 2017 14:44	306,1	04/10/ 2017 17:54	307	03/11/ 2017 22:11	304,7	05/12/ 2017 00:32	301,8	15/01/ 2018 07:30	301,4	05/02/ 2018 06:12	304	05/03/ 2018 11:07	303,7
29/09/ 2017 18:51	307,7	05/10/ 2017 05:41	305,8	03/11/ 2017 22:25	302,5	05/12/ 2017 08:07	301	16/01/ 2018 09:39	300,1	06/02/ 2018 18:09	299,7	05/03/ 2018 16:31	299,9
30/09/ 2017 04:30	307	06/10/ 2017 05:50	308,7	04/11/ 2017 11:59	308,7	05/12/ 2017 13:17	301,2	16/01/ 2018 12:46	304	06/02/ 2018 20:13	301,4	05/03/ 2018 22:02	300,1
		06/10/ 2017 10:33	303,9	06/11/ 2017 08:26	300	05/12/ 2017 17:40	302,2	17/01/ 2018 15:08	301,2	07/02/ 2018 09:32	299,5	06/03/ 2018 09:11	300,2
		06/10/ 2017 16:48	308,1	06/11/ 2017 21:50	300,7	05/12/ 2017 23:06	302,1	17/01/ 2018 17:03	301,6	07/02/ 2018 14:23	303	06/03/ 2018 13:32	300
		06/10/ 2017 22:56	306,6	07/11/ 2017 07:05	307,1	06/12/ 2017 08:41	303,3	18/01/ 2018 20:37	301,5	08/02/ 2018 13:21	300,5	06/03/ 2018 17:26	301,6
		09/10/ 2017 08:48	309,1	07/11/ 2017 11:00	306,6	06/12/ 2017 13:09	300,3	18/01/ 2018 23:11	302	08/02/ 2018 16:55	299,4	06/03/ 2018 19:04	302,5
		09/10/ 2017 14:07	308,1	07/11/ 2017 15:47	305,7	06/12/ 2017 18:06	302,3	19/01/ 2018 05:31	297,9	09/02/ 2018 17:10	300,1	07/03/ 2018 13:55	299
		09/10/ 2017 18:39	308,7	07/11/ 2017 19:21	304,2	06/12/ 2017 21:39	301,3	19/01/ 2018 09:49	300,1	09/02/ 2018 23:30	299	07/03/ 2018 16:13	301,6
		10/10/ 2017 03:49	305,8	07/11/ 2017 21:12	305,2	07/12/ 2017 07:44	304,3	19/01/ 2018 13:23	298,3	10/02/ 2018 20:59	300,6	07/03/ 2018 21:09	299,6
		10/10/ 2017 10:10	307,1	07/11/ 2017 21:19	304,7	07/12/ 2017 12:12	302,6	19/01/ 2018 18:19	299	12/02/ 2018 00:48	302,35	08/03/ 2018 08:38	302

		10/10/ 2017 15:35	309,4	07/11/ 2017 21:26	303,6	07/12/ 2017 17:08	303	20/01/ 2018 05:45	297,2	13/02/ 2018 04:37	300,75	08/03/ 2018 13:16	302,7
		10/10/ 2017 20:15	308,2	07/11/ 2017 23:58	305,1	07/12/ 2017 21:39	301,3	20/01/ 2018 09:18	299,8	14/02/ 2018 10:50	302,2	08/03/ 2018 16:27	299,6
		11/10/ 2017 06:28	307	08/11/ 2017 10:06	307	11/12/ 2017 09:40	304,1	21/01/ 2018 23:19	300,1	14/02/ 2018 17:21	301,2	08/03/ 2018 21:11	301,1
		11/10/ 2017 11:48	309	08/11/ 2017 15:33	306,4	11/12/ 2017 14:52	300,2	22/01/ 2018 02:25	297,7	14/02/ 2018 23:04	300,8		
		12/10/ 2017 08:25	305,8	08/11/ 2017 20:05	305,9	11/12/ 2017 19:01	305,3	22/01/ 2018 03:10	298,7	15/02/ 2018 07:38	302,2		
		12/10/ 2017 13:42	306,8	09/11/ 2017 07:07	305,7	12/12/ 2017 04:42	300,1	22/01/ 2018 07:49	302	15/02/ 2018 11:33	301,8		
		12/10/ 2017 18:11	307,2	09/11/ 2017 11:22	306,8	12/12/ 2017 09:37	302,2	22/01/ 2018 10:38	298,9	15/02/ 2018 16:55	301,4		
		13/10/ 2017 00:20	306,2	09/11/ 2017 16:37	307,1	12/12/ 2017 13:11	299	22/01/ 2018 15:51	299,6	15/02/ 2018 22:33	302,6		
		13/10/ 2017 10:24	308,8	09/11/ 2017 21:50	304,4	12/12/ 2017 18:17	304,1	22/01/ 2018 21:52	294,9	16/02/ 2018 09:32	300,5		
		13/10/ 2017 16:07	304,1	11/11/ 2017 01:30	308,1	13/12/ 2017 02:40	301	23/01/ 2018 08:58	297,7	16/02/ 2018 13:09	299,3		
		13/10/ 2017 21:08	303,6	14/11/ 2017 14:26	299,4	13/12/ 2017 09:15	302,7	23/01/ 2018 13:16	298,9	16/02/ 2018 18:07	302,7		
		14/10/ 2017 08:19	304,9	14/11/ 2017 20:24	299,1	13/12/ 2017 15:13	301,5	23/01/ 2018 18:17	301,7	17/02/ 2018 05:34	297,1		
		16/10/ 2017 06:45	306,2	15/11/ 2017 04:36	297,6	13/12/ 2017 20:28	301,8	24/01/ 2018 04:23	297	17/02/ 2018 07:47	298,2		
		16/10/ 2017 12:29	308,5	15/11/ 2017 10:08	299,8	14/12/ 2017 04:26	301,3	24/01/ 2018 09:45	300,6	17/02/ 2018 13:14	300,5		
		16/10/ 2017 16:56	309	15/11/ 2017 13:19	298,2	14/12/ 2017 11:08	303,8	24/01/ 2018 13:30	299,8	19/02/ 2018 10:11	302,1		
		17/10/ 2017 01:17	303,1	15/11/ 2017 18:16	299,2	14/12/ 2017 15:40	303,9	24/01/ 2018 18:10	299,2	19/02/ 2018 13:32	301,3		
		18/10/ 2017 07:45	308,2	16/11/ 2017 04:09	298,3	14/12/ 2017 22:45	300	25/01/ 2018 04:03	299,9	19/02/ 2018 16:21	299,1		

		18/10/ 2017 12:18	301,4	16/11/ 2017 10:05	301,9	15/12/ 2017 09:00	303,2	25/01/ 2018 18:09	299,4	19/02/ 2018 18:54	299		
		18/10/ 2017 17:30	300,9	16/11/ 2017 13:09	301,7	15/12/ 2017 14:12	301,7	26/01/ 2018 06:38	302,9	20/02/ 2018 04:17	300,1		
		18/10/ 2017 23:00	300,6	16/11/ 2017 17:26	301,7	15/12/ 2017 18:44	303,2	26/01/ 2018 14:23	298,2	20/02/ 2018 15:13	301,2		
		19/10/ 2017 08:48	302,1	16/11/ 2017 23:14	301,6	16/12/ 2017 04:33	300,5	29/01/ 2018 08:13	300,5	21/02/ 2018 02:25	300		
		19/10/ 2017 14:07	302,7	16/11/ 2017 23:57	302,7	16/12/ 2017 06:54	301,3	29/01/ 2018 13:51	297,1	21/02/ 2018 10:05	301,5		
		19/10/ 2017 19:12	302,5	17/11/ 2017 00:28	299,8	17/12/ 2017 23:20	301	30/01/ 2018 09:11	299,2	21/02/ 2018 15:48	299,3		
		20/10/ 2017 03:18	303,7	17/11/ 2017 01:46	301,8	18/12/ 2017 08:59	299,5	30/01/ 2018 12:10	301,2	21/02/ 2018 19:19	299,9		
		23/10/ 2017 08:35	304,4	17/11/ 2017 09:16	304,8	18/12/ 2017 14:05	301,5	30/01/ 2018 15:47	298,2	22/02/ 2018 04:29	298,7		
		23/10/ 2017 13:39	306,6	17/11/ 2017 16:56	300,5	18/12/ 2017 20:15	302	30/01/ 2018 18:47	299,3	22/02/ 2018 10:11	301,9		
		23/10/ 2017 17:22	305,1	18/11/ 2017 00:03	300,9	18/12/ 2017 22:00	300,6	31/01/ 2018 06:12	300,3	22/02/ 2018 15:28	299,7		
		24/10/ 2017 06:14	307	20/11/ 2017 18:32	301,1	19/12/ 2017 07:11	302,9	31/01/ 2018 10:40	299,9	22/02/ 2018 18:38	301,4		
		24/10/ 2017 08:05	306,5	20/11/ 2017 21:35	300,1	19/12/ 2017 10:57	300,6	31/01/ 2018 15:19	300	23/02/ 2018 04:10	299,5		
		24/10/ 2017 08:40	307	21/11/ 2017 06:53	301,1	19/12/ 2017 16:12	302	31/01/ 2018 20:13	299,8	23/02/ 2018 10:16	303		
		24/10/ 2017 08:58	305	21/11/ 2017 11:16	303,2	19/12/ 2017 20:46	301,1			23/02/ 2018 15:31	300,5		
		24/10/ 2017 09:04	306,5	21/11/ 2017 14:24	299	20/12/ 2017 01:33	300,8			23/02/ 2018 17:28	299,4		
		24/10/ 2017 09:07	305,4	21/11/ 2017 18:48	302,6	20/12/ 2017 09:04	302,8			24/02/ 2018 01:15	300,1		
		24/10/ 2017 09:20	307,8	22/11/ 2017 06:17	301,5	20/12/ 2017 14:04	299,5			26/02/ 2018 09:33	301		

		24/10/ 2017 09:59	305	22/11/ 2017 11:09	303,8	20/12/ 2017 17:59	300,6			26/02/ 2018 13:18	301,3		
		24/10/ 2017 10:14	304,6	22/11/ 2017 15:59	303	21/12/ 2017 00:59	302,9			26/02/ 2018 18:35	302		
		24/10/ 2017 11:34	305,5	22/11/ 2017 20:34	303,9	21/12/ 2017 19:59	300,8			27/02/ 2018 05:35	299,8		
		24/10/ 2017 13:51	306,8	23/11/ 2017 08:04	300,9	22/12/ 2017 08:51	301			27/02/ 2018 10:40	302,3		
		24/10/ 2017 16:28	304	23/11/ 2017 12:08	302,3	22/12/ 2017 14:23	299,4			27/02/ 2018 15:34	301,5		
		25/10/ 2017 05:03	302,9	23/11/ 2017 16:56	303,8					27/02/ 2018 20:59	300		
		25/10/ 2017 06:03	304,9	24/11/ 2017 00:02	300,9					28/02/ 2018 08:53	298,9		
		25/10/ 2017 09:46	302,6	24/11/ 2017 07:44	301,1					28/02/ 2018 14:32	301,1		
		25/10/ 2017 10:46	306,6	24/11/ 2017 12:26	301,2					28/02/ 2018 18:58	301,2		
		25/10/ 2017 17:07	305,8	24/11/ 2017 18:27	303,9								
		26/10/ 2017 05:48	304,3	27/11/ 2017 07:49	300,7								
		26/10/ 2017 06:48	303,3	27/11/ 2017 10:37	301,8								
		26/10/ 2017 11:06	303,5	27/11/ 2017 12:58	301,3								
		26/10/ 2017 12:06	305,5	28/11/ 2017 13:12	302,1								
		26/10/ 2017 15:48	302,1	29/11/ 2017 04:30	301,6								
		26/10/ 2017 16:48	302,1	29/11/ 2017 10:10	301,5								
		26/10/ 2017 21:20	307,5	29/11/ 2017 14:34	303								

		26/10/ 2017 22:20	304,5	29/11/ 2017 19:27	302,6								
		27/10/ 2017 06:51	305,8	30/11/ 2017 07:44	304,1								
		27/10/ 2017 07:51	306,8	30/11/ 2017 10:49	298,1								
		27/10/ 2017 11:09	302,2	30/11/ 2017 16:08	302,3								
		27/10/ 2017 12:09	307,2	30/11/ 2017 22:07	301,4								
		27/10/ 2017 15:57	304										
		27/10/ 2017 20:36	308,4										

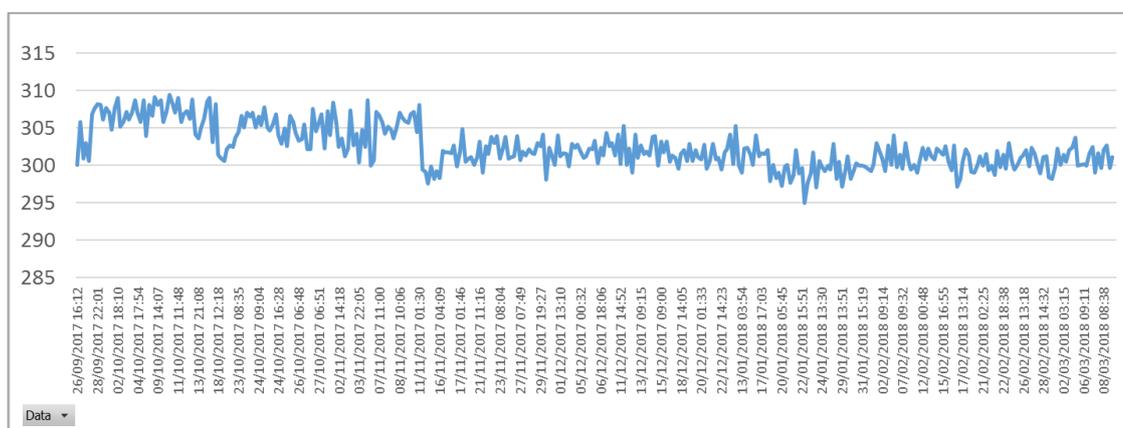


Figura 43: Valori di resistenza registrati nel periodo 26/09/2017 al 08/03/2018

Le attività di manutenzione svolte in questo lasso temporale sono riassunte nella Tabella 2 sottostante correlate di data e ora.

Tabella 2: Descrizione delle attività di manutenzione effettuate sul Robot nel periodo 26/09/2017 al 08/03/2018

Descrizione Attività su Robot R05	Data Inizio
Analisi termografica quadri elettrici	03/10/2017 08:00:00

Allineamento elettrodi, controllo cambio movimentazioni cambio elettrodi automatico, ravnivatura e passaggio punti su modello (CAB-VAN H3)	10/10/2017 02:00:03
Foto modifica fuori ingombro pacco lamellare.	11/10/2017 04:30:00
Montato modifica collare allestimento interno robot.	12/10/2017 02:30:06
Aggiunto punto a vuoto più prima calibrazione in seguito a cambio elettrodi automatici	17/10/2017 21:00:00
Modificato programma dress CE per ripetuti allarmi dopo il cambio elettrodo automatico	24/10/2017 08:30:00
Ripristinato quote elettrodo inferiore fuori range	31/10/2017 21:00:03
Modificato cambio elettrodo automatico e modificato punti di movimentazione (10541,10555,10583,10626,10597)	03/11/2017 01:30:36
verificato programma cambio elettrodi automatico	04/11/2017 04:30:53
verificato allineamento elettrodi e corretto punto di ravnivatura	06/11/2017 19:30:56
sostituito fresa	07/11/2017 03:30:00
Separazione programma di saldatura padiglione H3 da Vendor. Modifica punti del programma H3.	11/11/2017 05:30:00
Modifica punti su OP60 robot R05	15/11/2017 16:00:00
Cambiato programma punti su OP60 R05 e cambiato parametri su WMS	17/11/2017 19:00:00
Rivisto programma controllo allineamento. Rimpostati parametri di riferimento (TAG 5397)	17/11/2017 02:30:00
Modifica punti su OP60 R05	20/11/2017 09:30:00
Sostituito raccordo a 90° su bandella dietro trasformatore pinza 1 R05	23/12/2017 00:30:00
Sostituzione di tutti i raccordi su pinza 1 Robot R05	27/12/2017 09:30:00
Controllo e pulizia ventole robot	05/01/2018 09:00:00
Caratterizzazione pinza 1 R05 mascherone	08/01/2018 13:30:00
Cambiato motore Ax 8 su robot OP60 R05 e caratterizzato pinza	13/01/2018 13:30:00
Controllo parametri	16/01/2018 04:00:00
sistemazione micro riposo cilindro estrazione elettrodo cambio elettrodo automatico	22/01/2018 00:00:00
Pulizia Filtro Acqua Ingresso	03/02/2018 09:00:01

Serraggio vite riscontro movimentazione cilindro CE Automatico OP60 R05. La vite era in terra	13/02/2018 21:00:00
attivato cambio elettrodo automatico	14/02/2018 04:00:08
robot 60r05 modificata movimentazione sul modello cut- away per evitare collisioni in prossimità del punto wp10662	19/02/2018 21:30:00
Provato in automatico e verificato programma di lavoro robot 60r5 dopo modifica punti su modello 4100 H3	23/02/2018 23:00:00
Ciclo pulizia rattivatore	24/02/2018 15:00:00
Sostituito allestimento	03/03/2018 00:30:00
Sdoppiamento e modifica sottoprogramma per lavorazione cut-away h3. Controllo modifica durante lavorazione modello.	07/03/2018 18:30:00

4.7 Progresso della manutenzione

4.7.1 Il paradigma Industria 4.0



Figura 44: Le Aziende puntano verso l'Innovazione.

Di *Industria 4.0* ormai se ne parla dappertutto. È probabilmente uno dei temi attualmente più discussi nel mondo accademico e manageriale, e racchiude una serie di tecnologie innovative, che al momento stanno rivoluzionando la tradizionale visione dell'Azienda, finalizzate alla convergenza tra mondo virtuale e reale. Il paradigma "*Industry 4.0 promuove la connessione di elementi fisici come sensori, dispositivi e risorse aziendali, sia tra loro che su Internet*" [11]. Siamo dinanzi alla Quarta Rivoluzione Industriale.

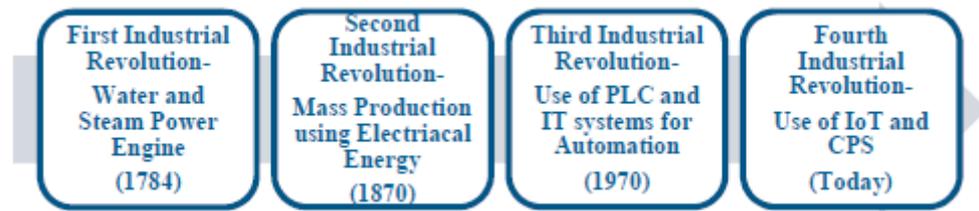


Figura 45: Quarta Rivoluzione Industriale [12].

È opportuno fare chiarezza sul significato che ha questo termine. Una tra le tante definizioni data, è la seguente: *“L’espressione Industria 4.0 esprime una visione del futuro secondo cui, grazie alle tecnologie digitali le imprese industriali aumenteranno la propria competitività ed efficienza tramite l’interconnessione e la cooperazione delle risorse (impianti, persone, informazioni) sia interne alla Fabbrica, sia distribuite lungo la catena del valore”* [13]. Dunque, il termine Industria 4.0 definisce un nuovo livello di organizzazione e controllo dell'intera catena del valore del ciclo di vita dei prodotti, orientato verso esigenze dei clienti sempre più individualizzate. Secondo il concetto di "Industria 4.0", i processi di produzione saranno spinti ad essere sempre più interconnessi, le informazioni in tempo reale e, necessariamente, molto più efficienti. In questo contesto, *“l’ottimizzazione della capacità”* va oltre l'obiettivo tradizionale della *“massimizzazione della capacità”*, contribuendo anche alla redditività e al valore dell'organizzazione.

Quali sono i bisogni? La necessità dell'industria 4.0 è quella di convertire le macchine normali in macchine auto-consapevoli ed a auto-apprendimento per migliorare le loro prestazioni generali e la gestione della manutenzione con l'interazione dell’ambiente circostante. Si punta alla costruzione di una piattaforma di produzione aperta e intelligente, al monitoraggio dei dati in tempo reale, dello stato del prodotto e controllo dei processi di produzione.

L’integrazione di tutte le risorse a disposizione plasmerà sistemi produttivi funzionali e flessibili, svilupperà una cultura di soddisfazione del cliente non solo derivante dal prodotto creato ma anche del servizio offerto e darà spunto per nuove opportunità di business. L’inarrestabile innovazione tecnologica spinge le Aziende a rivedere le proprie strategie, basate su una produttività tradizionale. Potrebbero nascere, appunto, nuovi business e si potrebbero avere creare scenari strategici sfruttabili. Non sono pochi i casi dove la nuova tecnologia adottata non è servita solo a potenziare le capacità dei prodotti o aiutare il processo produttivo nel monitoraggio di parametri etc., ma l’innovazione digitale dei propri impianti ha riconfigurato il piano d’offerta dedicato al cliente. Questo richiede: predisposizione al cambiamento per avviare la creazione di nuovi servizi, fare una profonda indagine del contesto competitivo, del ruolo chiave della tecnologia digitale per gettare le basi del cambiamento di un riposizionamento strategico.

Un approccio dedicato a processi snelli, dove c'è una forte collaborazione tra Produzione e Logistica, dove macchinari e operatori partecipano per attuare le operazioni del processo produttivo, è sinonimo di una conoscenza applicata di una organizzazione Lean ma non è Industria 4.0. Di certo essa è la base per poter accostare e sfruttare nuove tecnologie presenti oggi (es. Robot collaborativi); ma per poter iniziare a parlare di Industria 4.0 si dovrebbe acquisire altro, un esempio, avere un'infrastruttura che funge da *"direttore di orchestra"*, una sorta di sistema di raccolta, coordinazione e monitoraggio con in aggiunta punti di connessione.

Un monitoraggio flessibile di dati generati da oggetti interconnessi che scambiano informazioni con altri circostanti in modo autonomo servendosi di una connessione alla rete (concetto di IoT, Internet of Things) farebbe fare il salto verso il paradigma dell'Industria 4.0. *"Di IoT, si è iniziato a parlarne frequentemente fin dal 2010 da quando il numero di oggetti connessi ha raggiunto dimensioni superiori alla popolazione mondiale"* [14]. Questa tecnologia, anche se con numerosi successi, si stima sarà più matura tra qualche anno quando ci saranno protocolli mondiali in grado di garantire la massima sicurezza delle informazioni scambiate. Ma questo è solo un esempio di una tecnologia abilitante, di certo utilissima alla manutenzione in quanto sviluppando una piattaforma cloud per la interconnessione del parco macchine si potrebbe monitorare real time le prestazioni e pianificare interventi mirati. Da remoto sarebbe possibile fornire anche assistenza, configurare, e sviluppare servizi di continuo monitoraggio con diagnostica avanzata.



Figura 46:[13] Visione di una Fabbrica interconnessa.

Digitalizzare i processi manifatturieri è uno dei bisogni attuali delle Industrie, poiché in molti stanno cambiando da una produzione di massa ad una customizzata. Vi è comunque una stretta integrazione del ruolo umano nel processo di produzione in modo da avere un miglioramento continuo e concentrazione sulle attività a maggior valore aggiunto. La

principale differenza tra l'industria 4.0 e Computer Integrated Manufacturing (CIM) sta proprio nell'importanza del ruolo umano nell'ambiente di produzione (CIM considerava la produzione senza lavoratore).

Ma quali sono le prospettive per l'uomo? Durante l'evoluzione umana siamo stati chiamati a sviluppare, per necessità di sopravvivenza, i nostri sensi. Questi sono i nostri trasduttori di segnali esterni. Ciò che è cambiato nel corso dei secoli è l'ambiente in cui viviamo, la capacità di manipolarlo e sfruttare le risorse a disposizione. Il genere umano purtroppo non è vocato al "*multitasking*", anche se ciascuno nella descrizione personale di sé vorrebbe aggiungere questo aggettivo. Ci distraiamo facilmente se segnali forti invadono il nostro campo ed i disturbi rallentano i nostri riflessi. Un potente elaboratore, al contrario, avrebbe la capacità di frazionare la realtà e dare singole informazioni. I ritmi celeri del progresso non ci chiedono se siamo pronti ai cambiamenti ma ci invitano sicuramente ad informarci al meglio per governare i fenomeni. "*Industry 4.0*" richiede prima di ogni cosa un cambiamento culturale, competenze trasversali, una predisposizione a saper mutare ed arricchire la propria esperienza di fronte a macchine capaci di autogovernarsi.

I quattro principali driver dell'Industry 4.0 sono: *Internet of Things(IoT)*, *Industrial Internet of Things (IIoT)*, *Produzione basata su cloud*, *Produzione intelligente* che aiuta trasformando il processo produttivo in uno completamente digitalizzato e intelligente. Si potrebbero sintetizzare poi 9 pilastri che includono i driver e che aggiungono altri temi, nel complesso essi modificano la visione di una produzione suddivisa in celle isolate e seppur ottimizzate in una produzione completamente integrata. Ciò porta a una maggiore efficienza ed a un cambiamento dei rapporti di produzione tradizionali tra fornitori, produttori e clienti, nonché tra uomo e macchina. Le sfide e i temi affrontabili sono vasti e altrettanto ampi sono i trend e gli sviluppi in materia.

Una panoramica generale su tematiche alcune già presenti in passato ed in via di sviluppo [12]:

- **Big Data and Analytics.** La raccolta e la valutazione completa dei dati provenienti da apparecchiature di produzione di molte fonti diverse così come i sistemi di gestione aziendale diventeranno standard per supportare decisioni in tempo reale. Secondo la definizione fornita "*I Big Data sono formati da quattro dimensioni: Volume di dati, Varietà di dati, Velocità di generazione di nuovi dati e analisi, Valore dei dati*". L'analisi dei dati viene utilizzata per scoprire le minacce che si sono verificate in diversi processi di produzione e anche in previsione di nuovi problemi che si verificano per proporre varie soluzioni atte ad impedire che si verifichino nuovamente.
- **Autonomous Robots.** I robot stanno diventando sempre più autonomi, flessibili e cooperativi giorno dopo giorno e in certi casi si prevede interagiranno gli uni con gli altri e lavoreranno fianco a fianco con gli umani. Un robot autonomo è abituato a eseguire il

metodo di produzione in modo più preciso e lavorare anche nei luoghi in cui gli operatori umani trovano difficoltà oggettive. Essi possono completare il compito assegnato in modo preciso e intelligente entro il tempo stabilito e forniscono sicurezza, flessibilità, versatilità.

- **Simulation.** Le simulazioni saranno utilizzate più estensivamente nelle operazioni di impianto per sfruttare i dati in tempo reale rispecchiando il modello virtuale, che può includere macchine, prodotti e esseri umani, guidando così le operazioni e migliorando la qualità decisionale. Le simulazioni 2D e 3D sono state create per stimare tempi di ciclo, consumi, aspetti ergonomici di un impianto di produzione. Usi di simulazioni di produzione di processi non possono solo abbreviare i tempi morti e cambiarli, ma anche ridurre i fallimenti di produzione durante la fase di avvio.

- **System Integration: Horizontal and Vertical System Integration.** L'integrazione e l'auto-ottimizzazione sono i due principali meccanismi utilizzati nell'organizzazione industriale. La piena integrazione digitale e automazione della produzione implicano anche un'automazione della comunicazione e della cooperazione specialmente lungo processi standardizzati.

- **The Industrial Internet of Things.** Indica una rete mondiale di oggetti interconnessi e capaci di comunicare tramite protocolli standard. *“Contestualizzare, onnipresenza, ottimizzare sono le particolarità, il contesto è da riferimento all’opportunità di un’avanzata interazione dell’oggetto con un ambiente esistente e risposta istantanea se qualcosa muta, l’onnipresenza dà informazioni di posizione, condizioni fisiche di un oggetto, infine l’ottimizzazione ribadisce che c’è di più oltre la semplice connessione alla rete”.*

- **Cyber security and Cyber Physical Systems (CPS).** Con l'aumento della connettività l'esigenza di proteggere i sistemi industriali critici e le linee di produzione dalle minacce alla sicurezza informatica aumenta drammaticamente. Di conseguenza, comunicazioni sicure e affidabili, identità e gestione degli accessi delle macchine e gli utenti sono essenziali. Il termine CPS è stato definito come *“Sistemi naturali e creati dall'uomo (physical space) strettamente integrati con sistemi di calcolo, comunicazione e controllo (cyber space)”.*

- **The Cloud.** *“Produzione Digitale”* è l'idea di avere di diversi dispositivi connessi allo stesso cloud per condividere informazioni estendibili ad un set di macchine dell'officina e all'intero impianto.

- **Additive Manufacturing.** Con l'Industry 4.0, le tecniche di Fabbricazione Additiva saranno ampiamente utilizzate per produrre piccoli lotti di prodotti personalizzati, di maggiore complessità. Stanno cambiando le esigenze del cliente, e continuamente viene affrontata la sfida di ridurre i tempi di commercializzazione e le scorte di magazzino.

- **Augmented Reality.** L'industria può avvalersi della realtà aumentata per dotare i lavoratori, in tempo reale, di informazioni sul processo decisionale e sulle procedure di lavoro. In breve, lo scopo è ricevere istruzioni virtuali di riparazione mentre si osserva il

sistema reale, inoltre può aiutare a ridurre i tempi e gli errori delle attività di manutenzione. Molti sono gli studi che ritengono questa tecnologia un supporto indispensabile. [15]

Poiché l'implementazione del 4.0 sta aumentando, dovrebbero esserci nuovi flussi di ricerca e si dovrebbero consolidare quelli già esistenti. Ci sono alcune sfide e problemi fondamentali da chiarire, che si verificano durante la messa a punto nelle attuali industrie manifatturiere. Alcuni tra questi: il meccanismo di decisione e una negoziazione intelligente; i protocolli per volumi di dati elevati ad alta velocità; le analisi specifiche per la produzione: garantire l'alta qualità e l'integrità dei dati registrati dal sistema di produzione; la modellazione e l'analisi del sistema per ridurre le equazioni dinamiche e concludere in modo appropriato un modello di controllo; i problemi di investimento (materia piuttosto generale per la maggior parte delle nuove iniziative, un investimento significativo è necessario per l'implementazione dell'industria 4.0).

Vista la notevole varietà di fonti consultabili in materia e le varie tecnologie qualificanti che aprono settori anch'essi molto vasti, si preferisce in questo elaborato di Tesi non affrontare in tema dell'Industria 4.0 in toto e si opta di non analizzare le singole tecnologie abilitanti in dettaglio, ma si è deciso di soffermarsi solo sull'aspetto legato alla Manutenzione secondo un'ottica di Industria 4.0. Ossia, come questo settore si stia evolvendo secondo la rivoluzione in atto e di quali tecnologie si sta dotando, poiché si intuisce che l'intero ciclo di vita di un asset deve essere associato alla Manutenzione per centrare l'obiettivo di miglioramento duraturo e funzionalità delle risorse.

4.7.2 Le strategie di modellazione e l'importanza dei sensori



Figura 47: [13] Immagine a scopo illustrativo.

Stiamo assistendo alla trasformazione delle imprese sotto l'impulso di strategie di digitalizzazione che non riguardano solo la manutenzione ma tutti gli ambiti di un'impresa. Orientare al massimo risultato, aumentare il valore del prodotto finale è la sfida. Sia nella sua forma dedicata alla fabbricazione e fornitura di beni materiali o immateriali, sia nella forma predisposta a creare valore (supply chain e value chain), *“la trasformazione digitale va oltre il perimetro della Manutenzione”*. [13]

Le tecnologie digitali stanno cambiando e cambieranno radicalmente i processi ma l'impatto di esse sulle attività di manutenzione è di grande interesse. Nel modello dell'Industria 4.0, la Manutenzione può rivestire un ruolo fondamentale, il cambiamento funzionale che può avviare contribuirebbe al business della azienda e potrebbe avere conseguenze innovative sul settore in cui opera, quindi sul processo, e comunque anche se indirettamente sul prodotto/servizio.

Un sistema di gestione a partire dalle segnalazioni degli operatori di Produzione e di Manutenzione, con obiettivo un approccio *“Smart”* utile ad arginare difettosità e guasti, se supportato con le tecnologie giuste acquisirebbe un valore aggiunto non banale. Un passo un più riguarda anche il supporto virtuale delle decisioni per programmare la manutenzione essendo informati sullo stato operativo di macchinari e impianti.

Analizzando la situazione, stiamo vivendo il cambiamento, dal monitoraggio su condizione alla manutenzione predittiva intelligente. Le aziende hanno come obiettivo la *“Continuità”* e nella rapida trasformazione dei processi organizzativi si mira a ridurre i tempi di produzione, ma anche i tempi di manutenzione giocano un ruolo importante. Quest'ultima deve essere efficace ed efficiente.



Figura 48: Immagine illustrativa.

La manutenzione tradizionalmente consolidata nelle fabbriche del XX secolo era quella Preventiva, dove una serie di controlli schedulati con orari e date precise cercava di mantenere il buono stato delle attrezzature. Nello scenario comune l'immagine che tutti nel periodo di chiusura estiva erano in ferie tranne gli addetti alla manutenzione che eseguivano buona parte dei controlli non possibili a stabilimento aperto e a pieno ritmo, può essere esaustiva.

Un monitoraggio continuo è una naturale conseguenza. Esso permette di “*ascoltare*” la macchina, di ridurre al minimo gli interventi, eliminando quelli superflui che non danno avvisaglie di possibili anomalie.

La manutenzione predittiva si riferisce al monitoraggio intelligente dei macchinari per evitare guasti futuri. In contrasto alla consolidata tecnica convenzionale, il programma di intervento non è determinato da una schedulazione temporale stabilita bensì da algoritmi di analisi che usano i dati raccolti dai sensori delle apparecchiature disposte in punti strategici della macchina. [16]

La “*Predictive Maintenance*” unisce a complemento le tecniche più moderne per attuare la manutenzione; ad esempio i sensori che monitorano, rilevano le vibrazioni e le analizzano, riferiscono variazioni delle parti rotanti di una struttura indice di un’usura dei cuscinetti. Questi interventi di manutenzione non sarebbero facilmente stimabili manualmente durante il normale funzionamento. Un’analisi predittiva identifica il problema e propone un intervento in base alla gravità della situazione basato non su schedulazioni temporali già programmate ma sullo stato effettivo di usura del componente monitorato. Tale strategia sta già mutando, come tutte le tecnologie, si perfeziona e migliora, infatti non seguirà semplicemente un allarme al momento di un intervento ma sarà lo stesso impianto a rispondere allo stimolo ricevuto secondo un’intelligenza delocalizzata, cioè rimodulandosi e mettendo in sicurezza l’impianto evitando ulteriori danni e aspettando un intervento successivo, tutto questo a beneficio della “*continuità*”.

La manutenzione predittiva non è una novità introdotta dall’Industria 4.0, basti riflettere agli anni (non recenti) in cui le tecniche diagnostiche furono industrializzate, per cui essa è il passo precedente alla “*Manutenzione 4.0*”. Quest’ultima, infatti, si pensa sia un’evoluzione imprescindibile verso una nuova manutenzione predittiva, dinamica, intelligente, portatrice di performance migliori. Essa può rinnovarsi cavalcando l’onda dell’innovazione tecnologica avviata con l’avvento dell’Industria 4.0.

La vera domanda potrebbe essere capire come l’Industria 4.0 ha modificato la manutenzione predittiva e quali sono le *novità*. Senza scendere nel dettaglio della predittiva (già discusso), si vuole sottolineare la sinergia che potrebbe avere con la gestione operativa della produzione e le potenzialità da questa collaborazione. Dunque: “*non solo uno strumento di manutenzione ma tassello importante nel più ampio perimetro della gestione degli asset*” [17].

L’IIoT (Industrial-Internet of Things), sistema interconnesso della fabbrica dove ogni oggetto (sensore, macchinario, sistema) entra a far parte di una rete ed acquisisce la abilità di comunicare con gli altri oggetti, aumenta le capacità di connettività, non basta per fare manutenzione predittiva. Ci sono capacità diverse che entrano in gioco: ingegneristiche, di analisi sistema, che ricadono in ambiti diversi di conoscenza dalla’IIoT. La manutenzione

predittiva non deve essere una sola isola tecnica all'interno dello stabilimento, altrimenti non sarà mai una vera integrazione verticale e orizzontale [18].

Visto che l'acquisizione dati non basta, si è pensato di fare di più. Le nuove proposte di monitoraggio, sono date per esempio dal "Machine Learning (ML)", cioè un mezzo per creare un "modello" da confronto con la prestazione effettiva. Risulta possibile se l'azienda è dotata già delle tecnologie che rilevano grandi quantità di dati dal campo, ad esempio ogni operatore già monitora tramite dispositivi gli ordini di lavoro e ne registra i tempi di elaborazione (inizio e fine). I numerosi dati raccolti sul database aziendale sono utilissimi ad un modello predittivo. Il modello, sviluppato con una classe degli algoritmi di Machine Learning ad esempio il SVM (Support Vector Machine), è addestrato a predire i valori di una variabile incognita a partire da attributi che lo compongono e prevederne il suo comportamento.

Dopotutto, la riflessione comune di ritenere che le sole tecniche di interconnessione, analisi statistica avanzata e di Machine Learning (ML), indipendentemente dagli algoritmi utilizzati, possano dare risposte definitive alla Predictive Maintenance è anche un errore. Preoccupa in molti la superficialità e l'estrema semplificazione dello studio. Bisogna avere chiari i "modelli" di predittiva basati sul ML che dipendono dai fattori: disponibilità di dati coerenti; corretta individuazione del problema; previsione dei risultati. A tali aspetti si affiancano e si implementano i dati provenienti da sensori, impulsi, vibrazioni, ultrasuoni. Alcune di queste tecniche risultano le più affidabili come diagnosi tanto da non limitarsi a predire il guasto ma indirizzare su come agire (manutenzione prescrittiva).

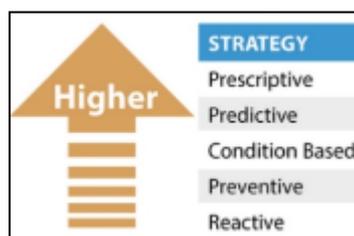


Figura 49: Vari tipi di manutenzione; da Predittiva a Prescrittiva il passo in più è avere direttive su come agire.

Sulla base dei dati a disposizione è bene capire come "costruire un modello", conoscere le caratteristiche statiche della macchina può fornire un aiuto all'analisi preliminare. Anche i dati storici consentono di acquisire informazioni sugli eventi trascorsi che hanno portato ad eventuali guasti. Una grande mole di dati non è esaustiva, bisogna che essi siano di "qualità" e bisogna che l'ingegneria di manutenzione collabori a stretto contatto con i "data scientist".

Non solo, *“per definire correttamente il modello, sulla base delle caratteristiche della macchina e dei dati disponibili, è essenziale valutare il tipo di output che vogliamo ottenere”* [19], vedere se esso è ammissibile rispetto ai dati storici di riferimento.

Le principali strategie di modellazione per avviare una strategia di manutenzione predittiva sono [19]:

- *“Modelli di regressione per prevedere la vita utile residua (RUL: Remain Useful Lifetime)”*.
 - Vale a dire stimare quanto tempo/cicli si hanno a disposizione prima che avvenga il guasto. Devono essere disponibili dati e se le fonti di errore sono diverse è necessario costruire un modello per ciascuno. (Sarà il modello utilizzato nel successivo capitolo per il conduttore flessibile oggetto di questa indagine).
- *“Modelli di classificazione per prevedere l’evento di errore entro una determinata finestra temporale”*.
 - Non serve sapere la durata precisa, ma sapere se la macchina si usurerà precocemente nei prossimi n giorni/cicli.
- *“Modello di segnalazione di comportamenti anomali”*.
 - I due precedenti modelli richiedono dati anche sul normale comportamento della macchina ed esempi di guasti avvenuti in passato. Se vi sono pochi errori o troppi tipi di errori da osservare bisogna definire il *“comportamento normale”* e valutare la differenza rispetto a quello corrente. La mancanza di dati da relazionare all’errore rende tale modello oneroso.

Ciò che i primi due modelli attuano è una correlazione tra le caratteristiche del sistema ed il percorso di degrado. Il limite è che il modello non riesce a prevedere altri tipi di errori oltre quello per il quale è stato addestrato. Generalizzare utilizzando un modello per segnalare qualsiasi tipo di errore potrebbe essere un grande vantaggio, ma segnalare qualunque errore di cui non si ha uno storico non potrebbe dare indicazioni sull’intervallo di tempo nel quale potrebbe verificarsi, perché semplicemente un comportamento anomalo non porta per forza ad una *“failure”*.

- *“Modelli di sopravvivenza per la previsione delle probabilità di Failure nel tempo”*.
 - *I precedenti approcci sono di tipo previsionale, se si vuole monitorare il processo di degrado e stabilire le probabilità di failure, quest’ultima strategia si adatta meglio”*.

Senza scendere nel dettaglio, è comunque essenziale valutare bene che tipo di approccio di creazione modello utilizzare.

Vista l’importanza delle tecnologie 4.0 di cui può dotarsi la predittiva: I-IoT per raccolta dati, ML per creare un modello, rimane da analizzare un’altra tecnologia utile da applicare: *“I (big) data analytics (tecniche per migliorare la conoscenza sui processi industriali ed il*

degrado degli asset in diverse condizioni operative)”. La tecnologia offre facilmente accessibilità a tali tecniche incluse o in aggiunta nei pacchetti dei servizi IT, ma la gestione di esse non è di facile uso e si rischia di non comprenderne a fondo l’utilizzo. Evitando di espandere tale argomento, si ci sofferma su un approccio equilibrato per la manutenzione predittiva. L’arma vincente e più convincente ad oggi è la multidisciplinarietà: la presenza di un “*Data Scientist*” accanto alla conoscenza di esperti della manutenzione, della gestione dei processi e della progettazione, ha apportato in tempi ragionevoli industrialmente una serie di applicazioni concrete e di successo. Questa figura è un profilo molto ricercato nelle grandi Aziende.

Non meno importante il ruolo della strumentazione di analisi predittiva della quali dotarsi. L'uso crescente di complessi sistemi di produzione altamente automatizzati e collegati in rete richiede alle imprese di ripensare alla loro strategia di manutenzione implementata. A causa dell'incremento del collegamento alla rete di macchine e sistemi nell'area di produzione, sono disponibili grandi set di dati e un numero crescente di sensori esterni ed interni vengono installati per acquisire informazioni per la produzione e con scopi di ottimizzazione della manutenzione. Sempre di più le macchine sono dotate di sensori direttamente installati in grado di acquisire dati rendendoli disponibili agli utenti esperti per valutazioni o per attuare contromisure autonome sulla base di condizioni predeterminate. L’evoluzione in questo ambito è sempre dietro l’angolo, le tecniche più avanzate di osservazione e monitoraggio includono, per esempio, il monitoraggio acustico ad ultrasuoni che rileva le variazioni del segnale acustico fornito dalle apparecchiature in funzione. L’utilizzo degli ultrasuoni potrebbe essere una soluzione estremamente economica e innovativa in grado di garantire notevoli vantaggi economici e implementare soluzioni senza grandi investimenti.

Le vibrazioni meccaniche ed il rumore acustico generato rappresentano segnali e informazioni preziose per una manutenzione predittiva. In fase di progettazione occorre quindi prevedere sistemi di misurazione di tali grandezze nei punti in cui rischi di questo genere possono scatenarsi più frequentemente. A seconda della tipologia di lavorazione e dei componenti costituenti, servirà fare un’analisi minuziosa dei possibili guasti e inserire gli opportuni sistemi di indagine.

Il grande contributo dato dai sensori per sostenere l’Industria 4.0 non è affatto trascurabile: protendono al perfezionamento digitale della macchina; forniscono maggiori informazioni sul processo, che si può analizzare e ottimizzare agevolmente. Alcuni studi propongono un approccio per l’analisi dei dati decentralizzato basato su reti di sensori intelligenti. [20]

Qualora si stabilisca di usare una manutenzione predittiva è perciò imperativo introdurre sulla macchina, se possibile prevedere già in fase di progettazione, dei sistemi di acquisizione dello stato di funzionamento e delle condizioni di lavoro in cui opera.

I parametri che possono essere monitorati, in ambito industriale, sono vari e spaziano da segnali di vibrazione, temperatura, livelli dell'olio, acustica, tensione e corrente del motore. *“Misurare i parametri non basta, è necessario presentare un modello matematico del sistema sotto analisi, da cui ricavare le condizioni di guasto. Serve il cosiddetto Gemello Digitale del processo o della macchina, che sarà usato come modello di previsione in grado di riconoscere uno stato normale da uno stato anomalo di funzionamento”.* [21]

Il “Continuous Condition Monitoring” è d’obbligo se si vuole intraprendere un’analisi predittiva, monitorare costantemente lo stato di una macchina osservando i parametri caratterizzanti evitando arresti anomali e forzati della linea. È facilmente intuibile in questa panoramica generale che “monitorare” è il primo grande step da realizzare. Molte sono le aziende che erogano servizi che differiscono significativamente, lo scopo dei Manager è monitorare le prestazioni degli operatori per intervenire su anomalie e scostamenti tra il rilevato e lo standard per capire che margini si hanno e se le strutture di supporto e realizzazione presenti sono adeguate a sostenere questi modelli di business. Alcuni elementi non sono comunque controllabili in un’azienda: incertezza sulle lavorazioni, esperienza dell’operatore; molti sono i fattori esogeni ed è complesso definire lo “standard”.

4.7.3 Predictive Maintenance e Continuous Quality Control

È sostanziale capire se si ha effettivamente esigenza di adottare una manutenzione avanzata o meno, un indizio potrebbe essere semplicemente valutare se i ricavi derivanti da tale manovra superano i costi in modo proficuo. La manutenzione è una tra le attività cruciale svolta all’interno dello stabilimento di produzione.

L’introduzione della manutenzione 4.0 porta sicuramente a dei miglioramenti nella garanzia della macchina, ma d’altro canto è ragione di un costo non irrilevante che deve essere ponderato caso per caso. Un aspetto discriminante potrebbe essere classificare il tipo di macchina. Durante un Convegno dal tema “la Manutenzione delle Macchine” [22], si è sottolineata una classificazione in due macro categorie:

“Macchine non critiche (contraddistinte da semplicità costruttiva, da facilità di manutenzione o marginalità di utilizzo nel contesto produttivo). Per esse può essere sufficiente una normale manutenzione correttiva e un ipotetico fuori servizio non implica problemi al processo produttivo, né alla qualità del prodotto;

Macchine critiche (quelle sulle quali è necessario concentrare gli sforzi per minimizzare guasti o fermate non previsti, perché incidono direttamente e drasticamente su quantità e qualità del processo produttivo). Per esse è necessario adottare tecniche preventive e, quando possibile, predittive”.

Un altro fattore fonte della decisione se intraprendere o meno un tipo particolare di manutenzione è *“il degrado tecnologico”*, ossia l’opzione di sostituire l’intera macchina con una più performante a fine vita utile o sostituirla i suoi componenti, è sempre una scelta da valutare caso per caso.

C’è una linea sottile tra manutenzione e sostituzione, perciò bisogna valutare numerosi aspetti: contesto produttivo, tipologia macchina, costo, utilizzo.

Per le macchine critiche alcuni studi [23] vedono un binomio perfetto tra una Predictive Maintenance e un Continuous Quality Control. Al fine di aumentare la competitività economica e la sostenibilità ambientale, la manutenzione predittiva delle attrezzature di produzione ed il controllo continuo della qualità dei parametri del processo di produzione e dell’output di produzione, potrebbero essere due strade da intraprendere di pari passo. Manutenzione predittiva comporta l’uso di sensori e altri mezzi per monitorare e raccogliere dati relativi ad un bene e alle sue attività operative, valori di produzione e condizioni. Questo non significa che tutti i dati raccolti sono memorizzati; quindi, i dati devono essere selezionati attivamente e vari parametri devono essere modellati per trovare soglie e relazioni che possono essere utilizzate per indicare potenziali problemi che si presentano (diagnostica) e necessità di manutenzione (prognosi). Quindi, modellare e analizzare, sono due aspetti fondamentali. Successivamente, i risultati analitici derivati (ad esempio il degrado delle risorse) devono essere presentati e visualizzati adeguatamente per supportare processi decisionali. Inoltre, nel caso in cui l’analisi riveli segni di failure immediata all’interno del bene monitorato, bisogna avere a disposizione notifiche per una manutenzione reattiva, nonché in casi estremi arresti di emergenza.

Il controllo continuo della qualità comprende, il monitoraggio online e la raccolta dei parametri del processo di produzione e misure dell’output dal processo produttivo. Come nella manutenzione predittiva sopra descritta, i dati dei parametri devono essere modellati per trovare gli intervalli, le soglie e le relazioni che possono condurre alla diagnosi e rivelare il sorgere o l’effettivo problema di qualità, che renderanno l’output non soddisfacente alle specifiche.

Per combinare e integrare questi due campi di lavoro bisogna capirne l’effettiva utilità. Un problema che potrebbe sorgere potrebbe essere il seguente: se la manutenzione predittiva online non indica una necessità imminente di manutenzione e l’aspetto dei parametri del processo di produzione non dà anomalie, ma l’output del processo di produzione non è adeguato, questo è un’indicazione che qualcosa non va e che bisogna ripristinare qualcosa per ottenere la qualità di output desiderata. Pertanto, il controllo di qualità continuo può essere utilizzato come un *“indicatore aggiuntivo”* di necessità di una manutenzione, che può anche comportare un check-up e la verifica dei sensori di monitoraggio e la loro funzione. Inoltre, questi due concetti possono essere integrati nella stessa piattaforma di raccolta dati/monitoraggio/analisi, poiché entrambi si basano

sull'utilizzo dei dati di sensore combinati con dati aggiuntivi, modellati in modo da ottenere input per le decisioni. Combinare e integrare la manutenzione predittiva e il controllo della qualità continuo può portare a un uso intelligente e sostenibile della produzione all'interno dell'industria manifatturiera.

La crescente e incessante crescita dell'Information and Communications Technology (ICT) permette di delocalizzare la manutenzione e la gestione della macchina. Le macchine si piccola taglia che non collocano un sistema di elaborazione a bordo possono trasmettere i dati acquisiti ad un sistema di calcolo centralizzato che si occuperà di tutto.

Attualmente le soluzioni ICT (Information and Communications Technology) presenti, originariamente destinate al supporto dei processi produttivi, mancano nel dare le corrette informazioni alle persone giuste, al momento giusto, e sono carenti nel fornire la consapevolezza del contesto. Una manutenzione insufficiente ha un impatto sulle performance del processo di produzione così come sulla qualità del prodotto finito.

Un livello adeguato di istruzioni dettagliate dovrebbe essere fornito al personale addetto, in base al livello di esperienza. Inoltre, la raccolta di informazioni con tecnologie avanzate dovrebbe fornire un aiuto agli operatori di manutenzione ed ingegneri. La trasformazione verso un ambiente altamente interconnesso è altamente sfidante. Un problema da evitare è il sovraccarico di qualsiasi informazione, i destinatari devono avere solo ciò che serve e la consegna delle informazioni deve essere allineata al contesto.

Il contesto è importante, poiché determina la fornitura adeguata di sistemi utili all'utente e permette di prendere decisioni in tempo reale, non frammentarie e limitate. Per cui dovrebbe essere implementato un sistema ICT che tiene conto del contesto. La sua architettura dipende da una serie di requisiti: posizionamento dei sensori, tempi di risposta, numero di utenti, potenza di calcolo. Altri approcci per ottimizzare la lettura di indicatori di prestazioni di sistemi flessibili, consentendo un adattamento della produzione sono forniti in letteratura, infine sistemi collaborativi di comunicazione potrebbero fornire supporto decisionale ai Team Leader.

4.7.4 Accostare il passato ed il presente, prerequisito della Manutenzione 4.0

Mantenere le "condizioni standard" delle attività, in generale, è sempre stato un obiettivo della produzione su larga scala. Con l'avvento dell'automazione e la sempre più marcata competitività la manutenzione sta assumendo un ruolo primario nel fornire sicurezza del lavoro ed alta qualità. I sistemi intelligenti stanno diffondendo capacità autonome di acquisizione di informazioni dal sistema circostante e di conseguenza il campo della manutenzione digitalizzata ha più che mai importanti opportunità sfruttabili. Scrutare quali siano i prerequisiti di una manutenzione 4.0 non è utile allo studio, piuttosto lo è

concentrarsi sull'importanza di combinare ciò che prima risultava essere la base di una buona manutenzione con i nuovi progressi tecnologici. Frequenza e tempo di propagazione sono due fattori che determinano il metodo di manutenzione da adoperare, ad una frequenza regolare di usura potrebbe corrispondere una manutenzione preventiva, mentre per un guasto casuale con un tempo di sviluppo non regolare si potrebbe associare un approccio predittivo. Ma ci sono altri aspetti determinanti, alcuni già menzionati, quali la sicurezza, il rispetto dell'ambiente, la qualità che devono essere prese in considerazione. Un vantaggio della manutenzione correttiva-preventiva ed estremamente ovvio è quando essa deve essere eseguita; un inconveniente è definire frequenze efficienti di intervento. Da un lato, le cadenze possono essere impostate con intervalli di tempo troppo lunghi, che potrebbero portare a un aumento della probabilità che si verifichino guasti catastrofici; d'altro canto, le frequenze possono essere troppo frequenti, sebbene probabilmente impedirà guasti, potrebbe essere non necessario. È opportuno incorporare la manutenzione predittiva per risolvere il problema, monitorando le condizioni delle risorse ed eseguire azioni quando necessario, può evitare guasti e possibili danni secondari all'apparecchiatura. Potrebbe essere la strategia per determinati componenti o sottosistemi.

Sebbene la manutenzione predittiva può essere un successo se applicata correttamente sui componenti appropriati, può anche essere una delusione totale se non implementata correttamente. Le tecniche di monitoraggio delle condizioni possono essere straordinariamente efficaci quando sono appropriate, ma quando inadeguate possono essere molto costose e talvolta tristemente deludenti applicarle in modo particolarmente rigoroso per tecniche di monitoraggio. Infine, il controllo continuo delle condizioni deve avere sia un ragionevole tempo di lavoro sia tecnicamente fattibile. Prima che le aziende inizino a implementare la manutenzione predittiva come strategia generale, dovrebbero porsi la domanda sul perché si verificano guasti.

“Compito degli operatori è: [24]

- *Mantenere le condizioni di base (pulizia, lubrificazione, bullonatura);*
- *Mantenere le condizioni operative (operazioni corrette e ispezione visiva);*
- *Identificare il deterioramento, principalmente attraverso l'ispezione visiva ed il riconoscimento precoce dei segni di anomalie durante le operazioni;*
- *Migliorare le abilità come il funzionamento, l'impostazione e la regolazione delle attrezzature, nonché l'ispezione visiva;*

Il personale di manutenzione d'altra parte deve:

- *Fornire supporto tecnico per le attività di manutenzione autonoma del reparto produzione;*
- *Ripristinare il deterioramento in modo accurato, utilizzando ispezioni, monitoraggio delle condizioni e revisione;*

- *Chiarire gli standard operativi tracciando le debolezze progettuali e apportando miglioramenti appropriati;*
- *Migliorare le abilità di manutenzione per i controlli, il monitoraggio delle condizioni, le ispezioni e la revisione”.*

Si può prendere in considerazione le conseguenze del guasto e quanto costerà in termini di manutenzione diretta, indiretta, costo del monitoraggio e dell'analisi. Dove necessario e possibile, le strategie di una manutenzione predittiva sono efficaci nel ridurre la probabilità di danno massimo e nel limitare le perdite di produzione, in particolare utili in alti volumi di produzione. I professionisti all'interno sia di enti accademici che industriali dovrebbero concentrarsi non solo sui progressi tecnici relativi alla manutenzione predittiva, ma verso un intero pacchetto di sicurezza, rispetto dell'ambiente, qualità e affidabilità / disponibilità. Se lo sviluppo futuro può combinare avanzamento della tecnologia con manutenzione di base è probabile che aumenterà l'efficacia della manutenzione totale.

Dove non è necessaria la manutenzione predittiva, dove non è economicamente fattibile o dove non è nemmeno possibile, il lavoro deve essere orientato verso i concetti e la gestione della manutenzione di base. È consigliabile che gli utenti delle apparecchiature della macchina condividano dati ed esperienze con i fornitori e viceversa in modo che i miglioramenti nelle prossime generazioni possano essere eseguiti in fase di progettazione invece di problemi già nello stato di esecuzione.

4.7.5 La sicurezza informatica

All'interno dei sistemi di controllo industriale la *Sicurezza Informatica* riveste un *“aspetto spesso sottovalutato, ma di primaria importanza, nella gestione degli asset”* [25]. Con la crescita delle reti integrate aumenta il rischio per le Aziende di essere esposte ad attacchi informatici che possono far trapelare informazioni private, dati sensibili, o addirittura bloccare la produzione. Bisogna dunque tener presente che, se da un lato la digitalizzazione dei processi industriali ha contribuito a migliorare tanti aspetti, dall'altro lato ha esposto il sistema a possibili minacce e rischi. Ci sono ancora tante vulnerabilità nei sistemi innovativi che necessitano di particolare attenzione. Dunque, la *“cyber security”* è di primaria importanza, e deve essere presente un Sistema di Controllo Industriale per scongiurare minacce software, virus, ma anche errori del personale. Si potrebbe scansionare la struttura periodicamente e vederne le vulnerabilità, fornendo *“Alert”* di malfunzionamenti e predisponendo delle figure che rivestono il ruolo di tutori della sicurezza.

5 Proof of Concept (PoC)

5.1 *Maintenance Control Tower*, opportunità per la Predictive Maintenance

L'intenzione di dedicare particolare attenzione ad una manutenzione di tipo predittivo e destinare dei fondi aziendali su questo aspetto è un tema attualissimo nel mondo delle grandi aziende. Responsabilità della manutenzione è ottimizzare le performance del sistema nel suo complesso salvaguardando la funzionalità e l'efficienza al costo totale più basso.

CNH Industrial ha grandi idee per gli stabilimenti più innovativi, vorrebbe attuare un radicale cambiamento del monitoraggio dei macchinari in prospettiva di una fabbrica intelligente e all'avanguardia anche sul lato manutenzione, che come è ben intuibile arreca non poche perdite e spese non banali sul bilancio finale. Ma il problema di fondo è avere un obiettivo preciso, destinare le risorse giuste, conoscere, gestire e rielaborare i dati e saper intervenire. Un contatto con altre aziende consulenti e specialiste del settore, una collaborazione con le Università è essenziale. Purtroppo, il vero dramma a volte è che non si sa quali progetti intraprendere per primi ed un consiglio esterno risulterebbe illuminante.

CNH Industrial desidera definire un approccio strutturato nei confronti dell'Industry 4.0 per sfruttarne i potenziali benefici. Per raggiungere questo obiettivo, si desidera sviluppare la metodologia, le competenze, i processi e la tecnologia del *"Digital Twin"*. Gli oggetti fisici e le copie virtuali comunicheranno tra di loro tramite dei sensori, una simulazione che non è occasionale ma continua e che accompagnerà l'intera vita dell'oggetto simulato.

L'azienda ha identificato la zona di manutenzione come un'area pilota promettente in cui iniziare a introdurre le funzionalità dello strumento per testare potenziali soluzioni, valutare benefici effettivi, impostare una *"Roadmap"*.

Un ausilio esterno è stato richiesto dallo Stabilimento di Suzzara per dar via ad un sistema moderno per la manutenzione di alcune linee produttive, in particolare riguardanti un controllo continuo di parametri utili agli utenti esperti per successivi interventi. Lo Stabilimento aveva già in atto alcune iniziative sperimentali di Condition Based Maintenance per aumentare il livello di performance delle sue linee di produzione. Per alcuni robot, ad esempio, è stato possibile passare da una manutenzione periodica (basata sulle ore lavorate) a una manutenzione gestita in base all'usura del bene con una significativa riduzione dei costi di manutenzione preventiva. Lo scopo ora è spostarsi verso

una manutenzione 4.0. La proposta di una società di consulenza, incaricata per dare una possibile attuazione di queste soluzioni moderne, è stata quella di creare una “Maintenance Control Tower (MCT)”. La proposta è creare un *simulatore multilivello dinamico* in grado di gestire la linea di produzione e le difficoltà della manutenzione fornendo un “gemello digitale”, quindi ricreare un laboratorio virtuale valutando diverse strategie di manutenzione e scenari virtuali diversi, senza rischi per l’ambiente e facilmente riprogrammabili.

Dopo diverse sessioni di brainstorming e uno studio fatto in stabilimento, si è delineato un quadro organizzato per sfruttare i vantaggi del Digital Twin, che è stato sintetizzato nella cosiddetta “Maintenance Control Tower”.

MCT viene proposto come una struttura multilivello che combina la manutenzione predittiva, la modellazione e la simulazione in un laboratorio di produzione virtuale in cui le operazioni vengono valutate e messe a punto in un processo di miglioramento continuo confrontando prestazioni reali, simulate e desiderate.

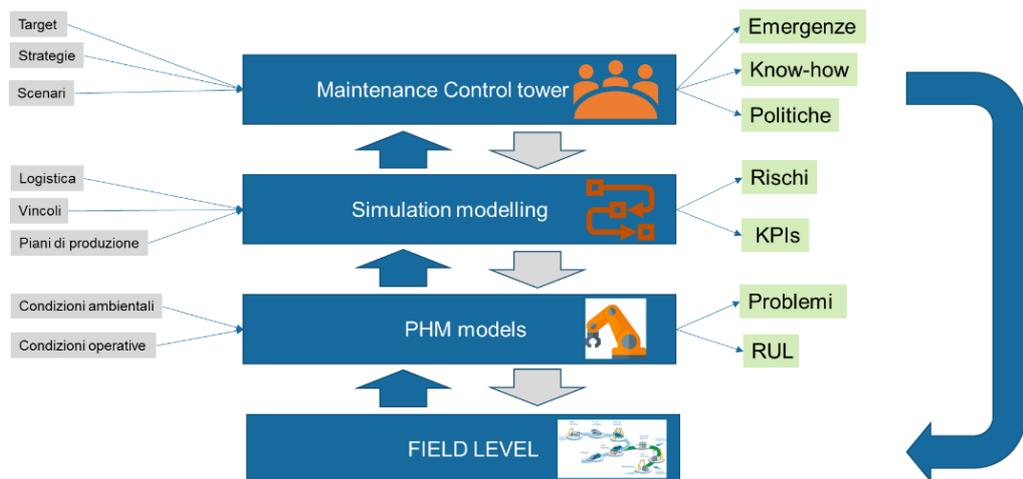


Figura 50: La MCT acquisisce informazioni dal campo (field level), dagli oggetti reali (PHM models), attua varie strategie combinando e valutando diverse simulazioni al fine di delineare una strategia ottimale da trasmettere nuovamente al campo reale.

Puntando ad adottare questa che potremmo definire una torre di controllo per ottimizzare il modo in cui la manutenzione è pianificata, eseguita e valutata; introducendo progressivamente gemelli digitali degli oggetti reali coinvolti, caricando risorse e processi all'interno del proprio laboratorio di produzione virtuale si potrebbero ottimizzare le politiche di manutenzione rispetto agli indicatori KPI selezionati. CNH Industrial implementerà questo processo nuovo per la manutenzione, per valutare, governare e ottimizzare anche le politiche di manutenzione; introdurre nuove tecnologie (IIoT, analisi predittiva); reingegnerizzare i processi (gestione delle parti di ricambio, monitoraggio delle

attrezzature); per specifici guasti potrebbe essere possibile identificare quando si è verificata la modalità di guasto monitorando un parametro specifico (vibrazione, flusso, resistenza, disallineamento) del componente di un asset.

Suzzara ha anche implementato una soluzione, definita e-PMM, per la gestione professionale delle attività di manutenzione. Con questa soluzione, i responsabili e gli operatori di manutenzione possono aggiornare, assegnare, esaminare e chiudere attività di manutenzione, sia preventive che correttive, insieme a risorse, competenze, assegnazioni, fornitori esterni, costi, sia su PC che su tablet. L'e-PMM terrà la cronologia delle attività di manutenzione effettuate con le attrezzature, e i relativi impatti sui costi reali che ne conseguono.

Aggiuntivi benefici sono attesi da: un rinforzo degli strumenti di monitoraggio della produzione; adozione di metodologie avanzate per l'analisi predittiva; estensione della copertura dei sensori IIoT; aumento dell'adozione della soluzione e-PMM per la messa a punto delle attività di manutenzione.

La Maintenance Control Tower e l'implementazione delle proposte sopra esposte in progetto in Suzzara potrebbero dare i risultati attesi: sostenere e protrarre le avanzate iniziative di manutenzione nel Plant; valutare in tempo reale il rapporto costi/benefici delle tecnologie nel processo di manutenzione; comprendere come estendere la manutenzione prognostica ad altre linee.

Il simulatore valuta la complessità del sistema, deve essere compatibile con la dinamica dell'insieme, deve essere flessibile ed essere in grado di comportarsi anche in diverse situazioni e con svariati test. Si è proposta una piattaforma ibrida di simulazione ad eventi discreti. Il suggerimento è stato quello di utilizzare Anylogic® come programma riservato alla realizzazione di modelli grazie alla sua efficacia, così come la sua accuratezza in termini di sistemi complessi. Il simulatore ha provato a modellare un sottoinsieme di una linea per dimostrare la fattibilità di un simulatore MCT esteso con gli obiettivi delineati dal cliente.

La linea Mascherone dello stabilimento di Suzzara è il candidato ideale a creare il paradigma MCT. Essa è destinata a saldare il corpo di diversi furgoni e cabine dei modelli giornalieri IVECO. La chiave per una manutenzione di successo è avere presente il sistema e i suoi costituenti, studiare e determinare le diverse ragioni che portano ad un probabile guasto e adottare un adeguato mix di strategie per prevenirlo. Il guasto è da evitare, esso può verificarsi se i componenti sono troppo stressati, per errore esterni, mancanza di manutenzione, incidenti imprevisti. Le strategie da poter applicare, come ben noto, potrebbero essere:

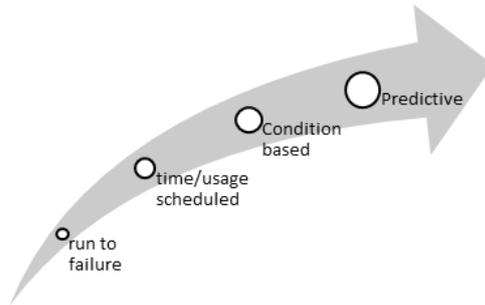


Figura 51: Strategie da applicare nel campo Manutenzione.

- Run to failure: strategia applicata in caso di guasti; ha un basso costo di implementazione; si effettua a fine ciclo di vita dei componenti, non si esegue nessuna pianificazione di riparazione; non necessita di nessuna formazione.
- Time/usage scheduled: strategia basata su una predefinita schedulazione; ha un costo basso di implementazione; dovrebbe evitare i guasti; possono però esserci errori imprevisti ed il ciclo di vita stimato è intempestivo (ci sono ancora alti guasti).
- Condition based: strategia basata su un periodico o costante monitoraggio del componente; è un tipo di manutenzione che si informa dello stato del componente; evita i guasti; cerca di sfruttare pienamente il ciclo di vita dei componenti; ha un alto costo di implementazione; necessita di conoscenza delle cause scatenanti guasti e improvvise rotture.
- Predictive: strategia di schedulazione programmata secondo la rimanente vita del componente (modello RUL: Remaining Useful Life); è un tipo di manutenzione informata; si attua un ciclo di vita completo dei componenti; evita i guasti; è la più efficiente da attuare; ha un elevato costo di implementazione; realizzabile per precise organizzazioni; richiede elevata esperienza e conoscenza delle cause di avarie “failures causes”.

Ad esempi, lo stato attuale della strategia applicata sul robot per la saldatura a punti (di cui il conduttore flessibile è l’oggetto di Indagine di questo Elaborato di Tesi) può essere riproposto secondo diversi metodi secondo le parti integranti che lo compongono: per il cambio elettrodo si può effettuare la strategia Time/usage scheduled ossia gli elettrodi vengono sostituiti dopo un numero fissato di punti di saldatura effettuati; per il pacco lamellare la proposta è un continuo monitoraggio del segnale indice di degrado, vale a dire controllo costante della resistenza; la novità potrebbe essere proprio un’evoluta Predictive Maintenance: monitorando l’andamento del segnale e avendo a disposizione un modello gemello virtuale insieme al modello reale (PHM model) di riferimento, possiamo sapere quando il conduttore flessibile va sostituito.

5.2 Approfondimento sul simulatore (MCT)

Si è proposto di iniziare a lavorare con un approccio graduale su due flussi paralleli.

La proposta include: lo sviluppo di un modello di simulazione dinamica di un sottoinsieme della linea Lastratura; un modello reale PHM delle attrezzature selezionate. Su due livelli, con due approcci paralleli, l'uno connesso allo scenario reale ossia relativo al modello fisico, l'altro costituito dal modello simulato (virtuale) ci dovrebbe essere continuamente scambio di informazioni.

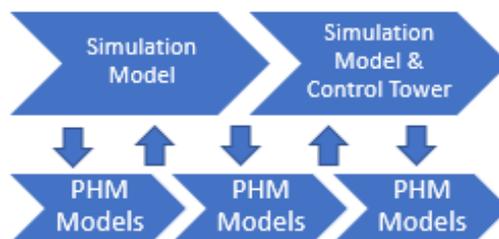


Figura 52: Continuo scambio di informazioni tra il modello simulato ed il modello reale.

Il valore aggiunto definito da un approccio del genere potrebbe essere notevole. L'acquisizione dati richiede una particolare attenzione, poiché potrebbe esistere quasi sicuramente un limite nell'archiviazione di dati, oppure possono presentarsi delle variazioni delle condizioni operative; la raccomandazione fornita principalmente è di valutare una frequenza specifica di salvataggio informazioni, avere un riferimento delle condizioni operative, stabilire intervalli e durata dell'acquisizione dati. Nell'analisi si dovrebbero raccogliere: direttive, flussi, caratteristiche, indicatori chiave (industriali e finanziari), regole, dati disponibili.

Nella fase di sviluppo dovrebbe non mancare una scrupolosa analisi tecnica del modello, la definizione tecnica delle strutture del modello (dati e algoritmi) e lo sviluppo di un codice/algoritmo.

Il simulatore arrecherebbe risultati benefici cruciali dal suo utilizzo. Si potrebbero evitare inattività non pianificate; la linea produttiva avrebbe dei vantaggi nell'applicazione di una manutenzione programmata diversa dalle politiche manutentive attualmente in uso. Non da meno, anche la gestione delle scorte sarebbe più proficua.

Nella fase di validazione, seminari improntati su tale tematica potrebbero aprire discussioni interessanti sul tema, fornire suggerimenti preziosi al consulente ed identificare sfondi più ampi di rilascio e messa a punto del metodo.



Figura 53: Schema logico che si dovrebbe seguire.

Una breve parentesi è doverosa per poter indagare a fondo il ruolo del *Simulatore*. Si pone particolare attenzione sugli input che riceve e sugli output concessi.

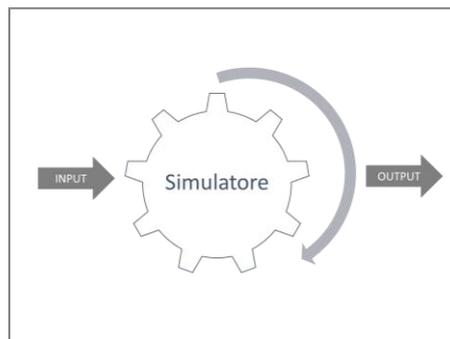


Figura 54: Il Simulatore elabora gli input ricevuti trasformandoli in output.

Input:

- Piani di produzione: sequenza dei modelli del prodotto da realizzare; elenco delle stazioni di lavoro e la tipologia corrispondente;
- Stazioni di lavoro: capacità; tempistiche di una macro famiglia di prodotti; elenchi dei robot presenti;
- Robot: numero di pinze; numero massimo dei punti di saldatura per il cambio degli elettrodi; caratteristiche dei conduttori flessibili per determinare la doglia di resistenza meccanica e calibrare il modello;
- Selezionare la strategia di manutenzione: Usage-scheduled maintenance; Condition-based maintenance; Preventive maintenance;
- Attività di manutenzione (riparazione o modifica): Tempo necessario per svolgere le attività di manutenzione; costi per lo svolgimento di queste attività.

Output:

Il simulatore fornisce una replica scrupolosa della linea di produzione, delle operazioni delle stazioni e delle attività di manutenzione necessarie.

Gli operatori esperti e formati possono prendere visione in modo efficace ed efficiente di: indagini sullo scenario What-If; analisi stocastiche; valutazione del rischio; studi di ottimizzazione.

Oltre queste attività, il simulatore è un potente mezzo per la creazione di una torre di controllo di manutenzione universale e completa integrazione di IIoT ed e-PMM da estendere ad altri impianti.

Sono state fatte alcune osservazioni della linea sulla quale si vorrebbe attuare questo tipo di analisi. Le assunzioni sottolineate, riproposte nello studio virtuale del fenomeno, vengono brevemente riportate:

- Il prodotto lascia la stazione attuale avendo incontrato due condizioni: le operazioni da farsi sono terminate nella stazione corrente (il takt time necessario si è completato); la stazione successiva è libera (inattiva) e operativa (non è in corso alcuna manutenzione);
- Le attività di manutenzione (elettrodo / cambio conduttore flessibile) si devono verificare dopo che le operazioni per le quali quei macchinari sono adibiti si sono concluse;
- Varie attività di manutenzione possono essere eseguite contemporaneamente;
- I prodotti non possono passare l'un l'altro;
- Considerare il tempo di trasporto tra le stazioni nel Takt Times;
- Le stazioni di trasporto buffer non sono caratterizzate da Takt Time e possono esserlo, supposto che le scocche non restino lì se la prossima postazione di lavoro è libera di accettarli;
- Le stazioni di lavoro funzionano solo a piena capacità (per piena capacità si è inteso che si ha o un furgone o due cabine);
- I tempi di takt time sono simili per le macro famiglie di prodotti (4100, 3250 SC, 3520 SL e cabina);
- Le op.05-10-15 possono essere modellate come una stazione con Takt time unico;
- Il tempo di riparazione per elettrodi / conduttore è simile tra i diversi robot.

Il simulatore è concepito per adattarsi alla complessità della linea del Mascherone e dei suoi componenti. Senza dubbio le novità da rimarcare sono:

- Consente una gestione ampia e permette di eseguire scenari "What-If" con parametri importanti acquisiti come: la politica di manutenzione e relativi parametri; il piano di produzione; il programma di lavoro settimanale.
- L'utente può immediatamente analizzare le principali conseguenze delle sue strategie di manutenzione per il prossimo o il lontano futuro.

Il simulatore può studiare le prestazioni e caratteristiche finanziarie della linea, come ad esempio indicare l'ora uomo necessaria per la manutenzione; i costi di manutenzione

suddivisi in categorie (pezzi di ricambio o team di manutenzione); i livelli di inventario necessari; il numero di interventi di manutenzione. Tutte queste informazioni possono essere esaminate per un'intera linea o per ogni stazione di lavoro. Fornisce uno strumento facile da usare per analizzare e confrontare diverse proposte, può visualizzare visivamente gli indicatori di linea per finestre temporali diverse (coppie di mesi o anni); può far chiarezza sull'analisi quantitativa di Pro e Contro degli investimenti proposti sui miglioramenti della manutenzione.

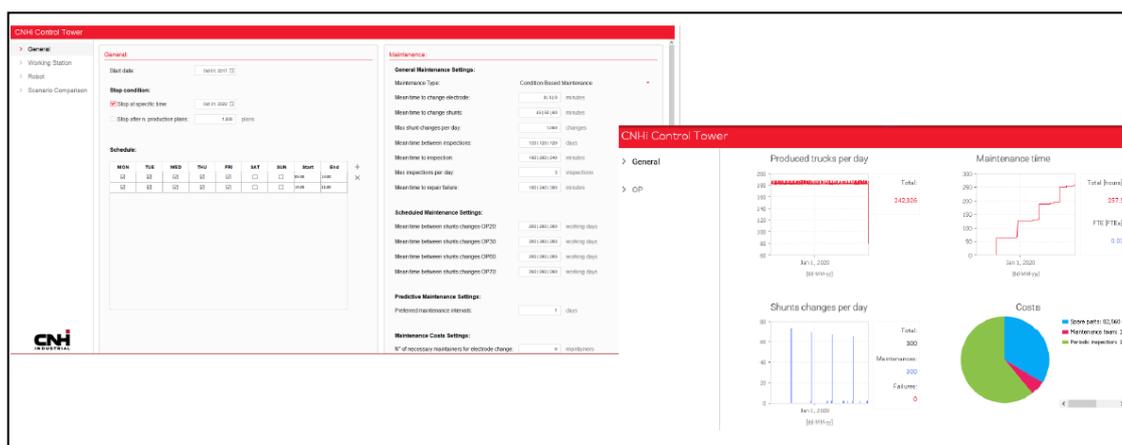


Figura 55: Esempio di schermata Monitoraggio dati generali Simulatore.

5.3 Proposta di progetto per il conduttore flessibile

Il contesto riguarda sempre il conduttore flessibile oggetto di indagine di questa Tesi. La sua funzione ormai nota, di componente industriale che offre continuità alla corrente di saldatura sul braccio e sulla pinza di saldatura, già affrontate nel capitolo precedente.

Il passo in più fatto in questo paragrafo, è una proposta di monitoraggio del valore di resistenza, rielaborato, con l'ausilio di strumenti di analisi più innovativi che rientrano nell'ottica di una visione predittiva avanzata di indagine. Infatti, si possono migliorare gli input agli algoritmi di previsione e degradazione mediante tecniche di filtraggio statistico da applicare alle misure della resistenza elettrica raccolte.

L'obiettivo è lo sviluppo di un quadro metodologico adattativo per la previsione dell'evoluzione degradazione del conduttore, stima della sua vita utile residua e dell'incertezza associata.

Componendo i modelli predittivi si migliora la previsione della vita residua RUL e la stima dell'incertezza (analisi di regressione avanzata dei dati).

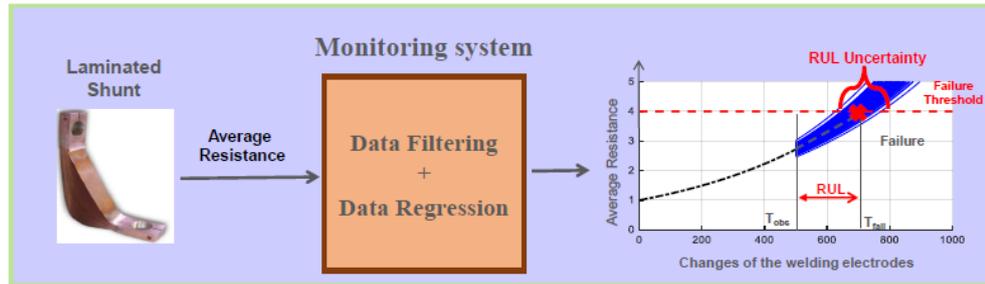


Figura 56: Tecniche di filtraggio e regressione dei dati statistici raccolti per migliorare la manutenzione predittiva.

Sul lato tecnico i problemi riscontrati dagli specialisti sono stati:

- Mancanza di dati storici raccolti in passato sulla degradazione di componenti simili;
- Valore molto incerto della soglia di errore fisico;
- Grande rumorosità di misurazione sui dati raccolti.

Le informazioni disponibili alla società consulente sono state fornite dallo Stabilimento. Le misurazioni fatte in un periodo temporale di circa tre mesi avevano come indicatore di degrado la Resistenza, informazioni sulla corrente e l'energia, parametri temporali; soglia di guasto del componente stimata per una resistenza di 314 $\mu\Omega$.

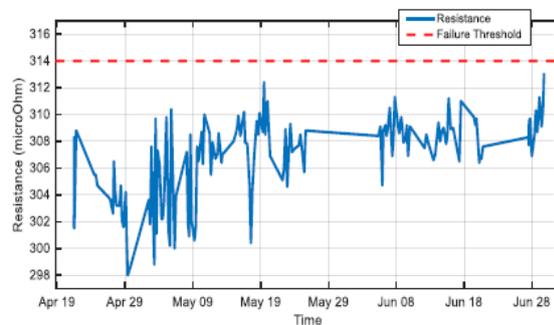


Figura 57: Raccolta dati, valori di resistenza elettrica nel tempo

Come è chiaro dalla Figura 57 il segnale risulta molto disturbato dalla presenza di rumore. Le cause possibili di disturbo potrebbero essere: il processo di misurazione; l'influenza delle condizioni operative (la temperatura); probabilmente il fatto che la resistenza viene misurata iniettando una corrente molto grande (\sim kA); stress meccanici esterni che potrebbero aver alterato ed influenzato le misurazioni di resistenza.

Le altre informazioni disponibili sulle misurazioni effettuate sono:

- Resistenza del pacco lamellare misurata ad ogni sostituzione degli elettrodi di saldatura;

- Gli elettrodi per saldatura sono cambiati dopo un numero fisso di punti di saldatura;
- L'uso che se fa del conduttore tra due cambi di elettrodi è considerato costante; le condizioni operative sono considerate in media simili.

Per poter arginare fenomeni di disturbi si è pensato anziché monitorare la resistenza giornalmente, e quindi mettere sull'asse dell'ascisse un riferimento temporale, di monitorarla in riferimento al numero di elettrodi cambiati (Figura 58).

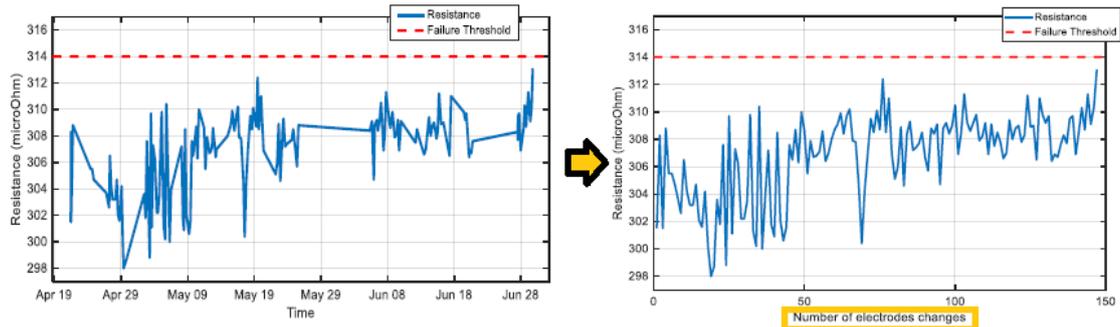


Figura 58: L'intuizione dei consulenti è di monitorare la resistenza non su base temporale ma in relazione al numero di elettrodi cambiati.

La vita utile residua (RUL) del conduttore verrà espressa come il numero rimanente di elettrodi da cambiare prima del collasso.

L'approccio proposto può essere visualizzato nella Figura 59. Dal semplice monitoraggio della resistenza, si potrebbe poi filtrare il segnale da errori e/o disturbi che ne deformano l'andamento; lo step successivo potrebbe essere un *Modello di Regressione* (che potrebbe essere spiegato come un'analisi semplificata della realtà, un'analogia più semplice, una "relazione funzionale tra le variabili, ottenuta con metodi statistici"). Infine, tramite il Modello di Regressione si potrebbe stabilire con minor ambiguità la soglia di rottura definitiva del componente.

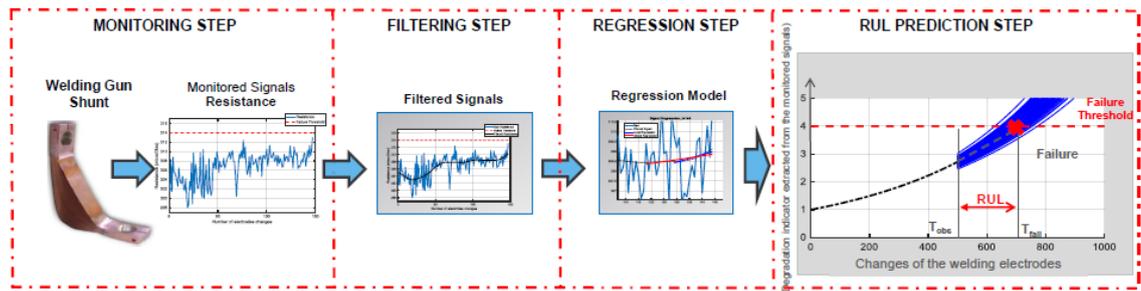


Figura 59: Monitorando la resistenza in funzione del numero di elettrodi cambiati (Monitoring step), si potrebbe filtrare il segnale liberandolo da disturbi esterni se facilmente distinguibili (Filtering step) e semplificando l'analisi statistica tramite modelli di regressione (Regression step), in tal modo la vita residua del componente (RUL) sarebbe più precisa.

Si esprimono in dettaglio i 4 step di approfondimento sempre più spinto attuati che non si limitano alla semplice raccolta dati.

- 1) Monitoring step:
 - i. Il vantaggio che si ottiene è un indicatore di degrado;
 - ii. Lo svantaggio è la rumorosità.
- 2) Filtering step:
 - iii. Il vantaggio è che filtrando i dati si ha un andamento monotono crescente, risultato sperato per l'indicatore di degrado utilizzato (si ricorda che diminuendo la sezione resistente la resistenza aumenta secondo la legge di Ohm);
 - iv. La nota negativa sono sempre gli effetti di bordo, ossia il rumore avvertito specialmente nell'ultima parte del segnale.
- 3) Regression step:
 - v. Il modello di regressione può essere Locale. Esso colleziona e tiene traccia delle ultime 15 rilevazioni, il vantaggio è un adattamento molto rapido alle variazioni dei comportamenti funzionali degradanti, l'inconveniente è la meno robustezza dinanzi alla rumorosità;
 - vi. Il modello di regressione può essere Globale più un eventuale modifica del contesto. Il set di dati a disposizione è dall'ultimo cambiamento del contesto fino al presente. Il vantaggio è che è solido rispetto al rumore di misurazione che colpisce la raccolta dati; lo svantaggio è che è meno sensibile alle variazioni del comportamento degradante.

N.B: Criterio di rilevamento di modifica del contesto: se le propagazioni del modello Globale e del modello Locale portano a due valori di RUL che differiscono più di 40 sostituzioni di elettrodi, allora si ritiene che il modello Globale non sia più rappresentativo del comportamento degradante.

4) RUL prediction step:

- vii. Il passaggio in più è sfruttare tutte le informazioni disponibili;
- viii. Superare la mancanza o parziale conoscenza dei dati storici;
- ix. Il limite è che non può essere applicato se la degradazione ha un andamento piatto (RUL tenderebbe a infinito);
- x. Lo svantaggio arrecato dal rumore permane per cui ancora rimane incertezza e instabilità.

6 Conclusioni

In uno scenario di produzione industriale internazionale, in cui la manutenzione richiede una risposta immediata, la necessità di essere innovativi significa intensificare le attività, spesso associando cambiamenti nella tecnologia di produzione e nell'analisi dati. Un corretto e ben regolato insieme di dinamismi preventivi e predittivi porterà sicuramente come risultato un'efficiente processo di gestione della manutenzione.

Per questa indagine si può dire che nel Capitolo 5 è stato validato, dall'Azienda incaricata da CNH Industrial, lo sviluppo di un quadro metodologico progredito rispetto ad un precedente approccio di solo monitoraggio del parametro di resistenza elettrica attuato in Stabilimento sul componente meccanico (Paragrafo 4.5).

Si potrebbero, così per porre le basi corrette di previsione della vita residua del conduttore flessibile. Il vantaggio è che si riesce parzialmente a superare la carenza di conoscenza dei dati storici assenti e informazioni non dettagliate. È presente una rilevazione e un adattamento rapido ai cambiamenti del comportamento degradante con l'ausilio di un modello locale e globale di regressione dati, e infine l'estensione a componenti simili sarebbe la naturale conseguenza da effettuare in Stabilimento. Si potrebbe pensare di avviare una metodologia avanzata per ottimizzare le soglie di allarme; affinare la precisione sulla restante vita utile (RUL) del conduttore flessibile introducendo algoritmi avanzati per la stima ed il filtraggio del segnale; valutando l'incertezza nelle stime. Purtroppo, risultano ancora irrisolti alcuni aspetti quali: la troppa sensibilità al rumore di misurazione e l'inapplicabilità di qualsiasi metodo quando il degrado ha un comportamento piatto.

Un'analisi virtuale e l'utilizzo anche solo di una "Maintenance Control Tower" porterebbe comunque a miglioramenti nelle attuali postazioni dove vige una tradizionale manutenzione CBM, con una maggiore consapevolezza sui risultati già raggiunti e l'identificazione di possibili relazioni tra le caratteristiche dei segnali e le condizioni di lavoro. La MCT aiuterà CNH Industrial ad attuare benefici sui temi della Manutenzione 4.0, il monitoraggio in termini di tempo, costi e risultati, al fine di identificare i rischi e attuare azioni correttive, verificare le prestazioni operative e finanziarie correnti per individuare le performance inferiori alle attese e implementare contromisure. Una Governance sarà progressivamente implementata come un processo di miglioramento continuo e sfrutterà modelli di simulazione dinamica e soluzioni di manutenzione prognostica.

Attualmente, un totale approccio innovativo sul conduttore flessibile non è ancora possibile, le limitazioni sono dovute a carenze profonde e non maturità della gestione dei dati, inoltre, informazioni e dati disponibili sono ancora incompleti per indagare su un modello di degrado specifico.

Si potrebbero perfezionare molteplici aspetti per rendere il sistema proficuo. Si potrebbe ridurre il grande rumore che influenza il sistema per il rilevamento del parametro resistenza. Si potrebbero raccogliere e memorizzare dati storici da componenti analoghi. Si potrebbe valutare la possibilità di integrare un modello di degrado fisico.

In sintesi, le contromisure da intraprendere potrebbero essere:

- Migliorare la precisione della procedura di misurazione;
- Misurare la temperatura (parametro altamente influenzante) ad ogni misura di resistenza;
- Iniettare una corrente più bassa durante la procedura di misurazione;
- Evitare contatti tra il conduttore e materiali diversi;
- Evitare stress meccanici esterni;
- Definire una procedura di misurazione unica e coerente da applicare a tutti i componenti monitorati;
- Raccogliere i dati su diversi componenti simili, al fine di costruire un database robusto per essere continuamente aggiornato e migliorato.

Data la capacità di analizzare le conseguenze delle politiche di manutenzione attraverso simulazioni virtuali, potrebbero essere lecite alcune domande che potrebbero avere delle risposte, ad esempio: quali sono gli effetti sulla linea Lastratura di una politica predittiva? Quali sono gli effetti di una corretta/errata applicazione della politica? Dove è più vantaggioso introdurre/approfondire la manutenzione predittiva?

Le proposte per il futuro dovrebbero essere:

- Una Manutenzione predittiva accurata e robusta per il componente analizzato rimane un obiettivo, anche se numerosi altri progetti ed altri componenti in Stabilimento aspettano una soluzione innovativa da attuare. Lo sviluppo di strumenti di manutenzione predittiva potrebbe consentire di prevedere con precisione la vita residua di un qualcosa per una programmazione efficace dell'intervento di manutenzione mirante alla riduzione dei costi di manutenzione complessivi.
- La valutazione automatica della qualità della saldatura potrebbe essere eventualmente un tema da considerare, insieme all'estensione della vita degli elettrodi di rame. Si potrebbe attuare un'indagine sul rapporto tra degradazione degli elettrodi e qualità della saldatura (con test di laboratorio) per lo sviluppo di uno strumento automatico che consente di valutare automaticamente la qualità dei punti di saldatura e rilevare una qualche anomalia. Si potrebbe identificare accuratamente e posticipare la soglia di non conformità per gli elettrodi al fine di monitorarli accuratamente.

7 Bibliografia

- [1] Quotidiano della Cisl, “Pomigliano, una nave a due Timoni”, Dossier Anno 67 - N. 104, p. 5, Maggio 2015;
- [2] Comunicato stampa della FIM (Federazione Italiana Metalmeccanici), “Le persone e la fabbrica: I cambiamenti e le condizioni di lavoro nelle fabbriche FIAT e CNH in Italia”, Maggio 2014;
- [3] Quotidiano della Cisl, “Le persone e la fabbrica Viaggio Fim dentro il WCM”, Dossier Anno 67 - N. 104, p.1-3, Maggio 2015;
- [4] CNH Industrial, “Sustainability Report”, 2017;
- [5] K. Pałucha, “World Class Manufacturing model in production management”, Volume 58, Issue 2, p. 227-234. Dicembre 2012;
- [6] CNH Industrial, “BoK (Book of Knowledge) di PM”, revisione 2016;
- [7] CNH Industrial, “PM, XV Audit WCM”, 11-12-13 Giugno 2018;
- [8] STEL S.r.l., “Welding Manual Italian”, p.5;
- [9] American Welding Society, “<https://www.aws.org/rwma/page/resistance-welding>”;
- [10] TEWI S.r.l.; “Analisi di Fattibilità relativa a Grandi pinze per saldatura per punti”;
- [11] K. Sipsas, K. Alexopoulos, V. Xanthakis, G. Chryssolouris, “Collaborative maintenance in flow-line manufacturing environments: An Industry 4.0 approach”, 5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production, p. 236-241, 2016;
- [12] S. Vaidya, P. Ambad, S. Bhosle, “Industry 4.0 – A Glimpse”, 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering, p. 233-238, 2018
- [13] M. Macchi, “Industria 4.0: essere smart nella Fabbrica e nella catena del valore”, Rivista Manutenzione T&M, p.5-7, Gennaio 2018;
- [14] F. Adrodegari, N. Sacconi, “Innovare la manutenzione nell’epoca dell’Internet of Things”, articolo pubblicato sul numero di Manutenzione T&M di Aprile 2018;
- [15] R. Masoni, F. Ferrise, M. Bordegoni, M. Gattullo, A.E. Uva, M. Fiorentino, E. Carrabba, M. Di Donato, “Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality”, FAIM2017, p. 1296-1302;

- [16] Sito web MathWorks, "Previsione di Potenziali guasti alle attrezzature"
- [17] M. Macchi, "Manutenzione Predittiva: quali novità in vista", Rivista Manutenzione T&M, p.10-11, Giugno 2018;
- [18] M. Macchi, "Manutenzione Predittiva: quali novità in vista", Rivista Manutenzione T&M, p.24-25, Giugno 2018;
- [19] M. Ricci, "Manutenzione Predittiva, Prescrittiva e Industria 4.0", Rivista Manutenzione T&M, p. 48-51, Giugno 2018;
- [20] E. Uhlmann, A. Laghmouchi, C. Geisert, E. Hohwieler, "Decentralized Data Analytics for Maintenance in Industrie 4.0", 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, Modena, p.1120-1126, 2017;
- [21] G. Grusso, "Il ruolo dell'IOT per la manutenzione ed il monitoraggio dell'efficienza", Articolo tecnico, 2017;
- [22] A. Forà, "Strumenti per un'analisi predittiva ai fini di una manutenzione efficace", Fiera e Congresso Parma, 2014;
- [23] J. Lindström, H. Larsson, M. Jonsson, E. Lejon, "Towards intelligent and sustainable production: combining and integrating online predictive maintenance and continuous quality control", The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, p. 443-448, 2017;
- [24] M. Bengtsson, G. Lundstrom, "On the Importance of combining "the new" with "the old"- One Important prerequisite for maintenance in Industry 4.0", 8th Swedish Production Symposium, Stockholm, Sweden, p. 118-125, 2018
- [25] "La sicurezza informatica all'interno dei sistemi di controllo industriale", Rivista Manutenzione T&M, p. 82-83, Aprile 2018.

8 Ringraziamenti

Desidero ringraziare il mio Relatore il Professore Luca Iuliano e l'Azienda CNH Industrial per la collaborazione durante il periodo di Tesi.

Il mio pensiero va alle persone a me care, che mi hanno supportato in questi anni intensi e che gioiscono insieme a me oggi. Alla mia famiglia va un immenso Grazie, senza loro probabilmente non sarei riuscita a raggiungere questo importante traguardo accademico.

A me stessa, infine, auguro di preservare: curiosità del mondo, lealtà e sorriso per fronteggiare le nuove sfide che la vita mi concederà.

