

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

La manutenzione nell'era della Lean Production,  
implementazione di un progetto pilota.



Relatore

Prof. Maurizio Galetto

Candidato

Daniele Noto Malta

Anno Accademico 2018/2019

*Δεν υπάρχει τίποτα μόνιμο, εκτός από την αλλαγή.*

*(Non c'è nulla di permanente, eccetto il cambiamento.)*

Ηράκλειτος (Eraclito)

# Indice

|  |    |
|--|----|
| Indice degli acronimi.....   | 1  |
| Introduzione .....   | 2  |
| 1.1 Perdite negli impianti e costi della non qualità .....                 | 3  |
| 1.1.2 Costi della qualità e della non qualità .....                        | 4  |
| 1.2 La Manutenzione .....  | 9  |
| 1.3 Politiche di manutenzione .....  | 11 |
| 1.4 Criteri di scelta per le strategie di manutenzione .....               | 17 |
| Cap 2: Total Productive Maintenance.....                                   | 20 |
| 2.1 TPM.....   | 20 |
| 2.1.1 Gli otto pilastri del TPM.....                                       | 22 |
| 2.2 L'essenza della Lean Production: il Kaizen .....                       | 23 |
| 2.2.1 Le origini della filosofia .....                                     | 24 |
| 2.2.2 I Muda.....  | 25 |
| 2.2.3 Le 5 S.....  | 29 |
| 2.3 Indicatori di prestazione .....  | 30 |
| 2.3.1 OEE e OEU.....   | 31 |
| 2.3.2 MTBF e MTTR.....   | 32 |
| 2.4 L'apporto dell'industria 4.0 all'evoluzione della Lean Production..... | 33 |
| Cap 3: Il caso di studio.....  | 34 |
| 3.1 Il contesto aziendale .....  | 34 |
| 3.1.1 Storia.....  | 36 |
| 3.2 Il processo produttivo .....   | 38 |

|   |    |
|---|----|
| 3.3 Il progetto pilota .....                              | 40 |
| 3.3.1 La Diamantatrice.....                               | 43 |
| 3.3.2 L'obiettivo .....                                   | 46 |
| 3.4 Il modello: "The Cube" .....                          | 47 |
| 3.4.1 Il funzionamento .....                              | 48 |
| 3.4.2 Le strategie.....                                   | 50 |
| 3.4.3 Strategie raccomandate vs parere degli esperti..... | 52 |
| 3.5 SWOT Analysis.....                                    | 53 |
| Cap 4: Sviluppo del Cubo .....                            | 54 |
| 4.1 Il team.....  | 54 |
| 4.2 La BOM della macchina.....                            | 54 |
| 4.3 Database .....  | 55 |
| 4.3.1 SAP .....   | 56 |
| 4.3.2 HBH .....   | 56 |
| 4.3.3 Input del Cubo .....                                | 57 |
| 4.4 Modifiche al modello .....                            | 57 |
| Cap 5: Analisi dei risultati.....                         | 60 |
| 5.1 Analisi sulle linee .....                             | 60 |
| 5.2 Le strategie suggerite.....                           | 62 |
| 5.3 Contromisure .....                                    | 64 |
| 5.4 Analisi dei potenziali.....                           | 67 |
| 5.5 Meeting.....  | 69 |
| 5.6 I limiti del lavoro .....                             | 69 |
| Cap 6: Conclusioni .....                                  | 73 |

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 6.1 Le prossime mosse ..... | 75 |
| Attachmen A.....            | 76 |
| Attachment B.....           | 77 |
| Attachment C.....           | 78 |
| Attachment D.....           | 79 |
| Ringraziamenti .....        | 80 |
| Bibliografia .....          | 81 |

## Indice degli acronimi

BOM: bill of materials – distinta base

BKD: Breakdown – fermo macchina, guasto

CBM: Condition Based Maintenance – manutenzione basata su condizione

FM: Fermo Macchina

HBH: Hour by Hour – ora per ora

IoT: Internet of Things – internet delle cose

KPI: Key Performance Indicator – indicatore chiave di prestazione

MPS: Mahle Production System

MTBF: Mead Time Between failure – tempo medio tra i guasti

MTTR: Mead Time to Repair – tempo medio di riparazione

OEE: Overall Equipment Effectiveness – efficacia totale della macchina

OEU: Overall Equipment Utilization – utilizzazione totale della macchina

SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

TFM: Total Flow Management – gestione totale del flusso

TQM: Total Quality Management - gestione della qualità totale

TPM: Total Productive Maintenance - manutenzione produttiva totale

TPM: Total Production Management – gestione totale della produzione

TPS: Toyota Production System

ZM 40/41/42: Codici identificativi del tipo di intervento manutentivo

## Introduzione

*“Digital innovation is reshaping industries by disrupting existing business and operating models. But it is also having a profound impact on society, presenting a series of opportunities and challenges for businesses and policy-makers”<sup>1</sup>.*

Una considerazione che presenta il dualismo del cambiamento come minaccia, ma anche come opportunità per migliorarsi se assecondato. Ad oggi gran parte delle aziende italiane, PMI soprattutto e non solo, si affidano ancora alle due strategie di manutenzione classiche, la manutenzione correttiva e la manutenzione preventiva che nel mondo emergente delle Smart Factories, troveranno sempre meno posto.

La manutenzione predittiva, grazie all’ *Internet of Things* (IoT), supera tutti i problemi caratteristici della manutenzione classica e aiuta l’azienda nella transizione verso il modello Industria 4.0 dove è la macchina a monitorare sé stessa e provvede ad inviare un avviso una situazione di rischio è rilevata. Fino ad oggi si è lavorato a posteriori: solo dopo la manifestazione di un guasto avveniva la ricerca della causa, il nuovo paradigma che si profila grazie all’incontro della filosofia Kaizen con il suo TPM e dell’industri 4.0 è di invertire questa relazione causa effetto.

Lo scopo dell’elaborato di tesi è analizzare le diverse strategie manutentive, in modo da individuare la migliore combinazione da implementare nel contesto produttivo della MAHLE Componenti Motore situata a La Loggia (TO) attraverso un progetto pilota.

---

<sup>1</sup> Accenture, World Economic Forum. Digital Transformation Initiative. Maggio 2018.  
<http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-executive-summary-20180510.pdf>

# Cap 1: Gestione della manutenzione

In questo capitolo verranno trattate diverse strategie di manutenzione con l'intento di comprenderne pro e contro. Alcune di queste sembrano in contrapposizione tra loro, mentre altre possono coesistere, in modo da creare una sinergia positiva. Prima di analizzarle saranno presentati alcuni fattori che fanno della manutenzione una leva di competizione imprescindibile, sulla quale vale la pena investire tempo e risorse.

## 1.1 Perdite negli impianti e costi della non qualità

“Qualità è l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare esigenze espresse o implicite” (UNI EN ISO 8402:1995).

Definire la qualità non è semplice, basti pensare quante definizioni sono state date nel tempo da una moltitudine di studiosi di vari ambiti, dall'ingegneria, all'economia e alla produzione, quando ci si riferisce ad un bene, materiale o immateriale, il termine qualità indica la misura della proprietà di una entità in confronto a quanto il mercato si aspetta dalla stessa, per un determinato impiego.

“Qualità è il grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche di un oggetto soddisfa i requisiti” (UNI EN ISO 9000:2015).

Una caratteristica può essere intrinseca o assegnata, qualitativa o quantitativa, in ogni caso è connessa a un requisito.

Per requisito si intende, “bisogno o aspettativa dichiarata, implicita o obbligatoria” (UNI EN ISO 9000:2015).

Questa disciplina ha subito varie evoluzioni negli anni, fino a diventare una leva di competizione importante e parte integrante della strategia aziendale. Il cambiamento più importante avvenne nel periodo successivo al secondo

dopoguerra, in un contesto particolare dove l'offerta di mercato eccedeva la domanda generando un problema di invenduto. Furono i Giapponesi negli anni '70 a riscrivere i canoni della qualità e grazie a questa rivoluzione risorsero dalla loro situazione di sconfitti nell'ultimo conflitto mondiale<sup>2</sup>. La filosofia in questione è conosciuta come Kaizen, ancora oggi studiata e sognata da tante aziende produttive o di servizi. Facendo un passo indietro, durante il periodo della seconda rivoluzione industriale, con processi sempre più sofisticati, emerse la necessità di prevedere i risultati e di controllare il processo produttivo monitorandone le variabili. Si diffuse così il concetto di “controllo statistico dei processi”. Nello stesso periodo si sviluppò l'idea della qualità non solo dal punto di vista tecnico ma anche organizzativo, fino ad arrivare ad una organizzazione sistemica delle attività di pianificazione, di gestione e di controllo in relazione al ciclo di vita del prodotto.

La disciplina si è affinata sempre più negli anni fino ad evolversi nel “Total quality management”, un modello organizzativo adottato da tutte le aziende leader mondiali, secondo cui tutta l'impresa deve essere coinvolta nel raggiungimento degli obiettivi, con il coinvolgimento del personale e la lotta agli sprechi in ottica di ottimizzazione degli sforzi. L'applicazione della Gestione della Qualità Totale consiste nel rendere operativo un sistema formalizzato che permetta di ottenere il massimo dei risultati con il minimo dei costi<sup>3</sup>. L'esigenza era quella di rispondere alla competitività giapponese incentrata sulla customer satisfaction e la sua una visione dinamica della qualità: il miglioramento continuo.

### 1.1.2 Costi della qualità e della non qualità

L'insieme degli sforzi e dei costi per mantenere e migliorare questa importante leva di competizione sono conosciuti come “Costi della Qualità”.

---

<sup>2</sup> <http://www.qualitiamo.com/evoluzione/lungo%20percorso.html>

<sup>3</sup> <http://www.qualitiamo.com/evoluzione/gestione%20qualita.html>

Il primo studioso a trattare questo argomento fu Juran nel 1951 nel libro “Control Handbook” con una famosa analogia tra i problemi non visti come crucci e situazioni spiacevoli, ma come una miniera d’oro, risorse preziose per le organizzazioni, da sfruttare come opportunità di miglioramento<sup>4</sup>. Juran definisce i “costi della non qualità” come ‘la somma di tutti i costi che dovrebbero sparire se non ci fossero problemi di qualità’, in un mondo ideale con processi perfetti e senza variabilità, i controlli svanirebbero, dato che non fanno parte delle attività a valore aggiunto. Questi sono dovuti in generale a tutte le inefficienze e i problemi di qualità e scarse performance che si riscontrano lungo tutta la value chain, dalla progettazione del prodotto fino a quando il prodotto arriva nelle mani del cliente e viene utilizzato dallo stesso.

Nel 1961 Feigenbaum torna sull’argomento<sup>5</sup>, spiegando come i costi di prevenzione sono di gran lunga preferibili a quelli di correzione dell’errore, che crescono esponenzialmente con l’avanzare dello stadio del prodotto. Secondo Feigenbaum, è necessario lavorare sulla qualità fin dalle primissime fasi di sviluppo prodotto, per evitare tardive correzioni di progetto, caratterizzate da un costo crescente all’avanzare del processo di sviluppo, divenendo uno dei principali rischi di fallimento per un nuovo prodotto.

---

<sup>4</sup> <http://www.qualitiamo.com/costi/introduzione.html>

<sup>5</sup> Feigenbaum A V. Total Quality Control. New York. McGraw-Hill. 1961.

## Processo di sviluppo prodotto

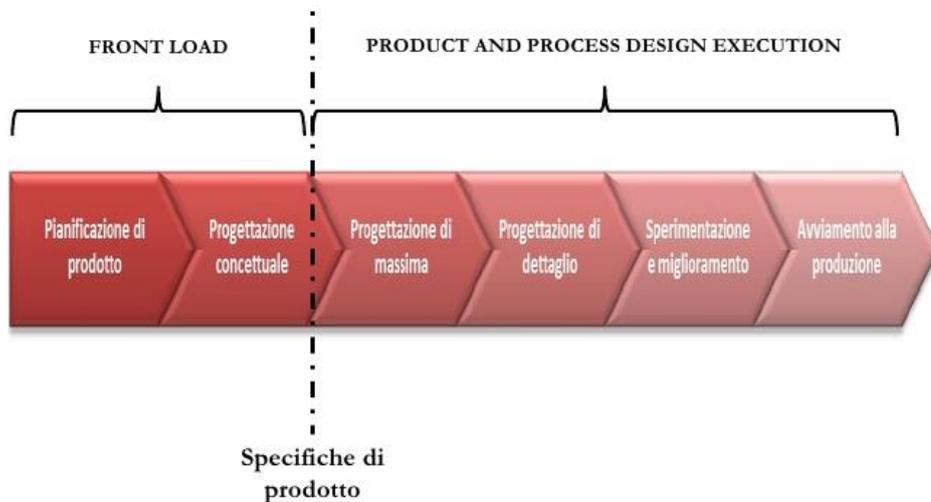


Figura 1: Processo di sviluppo prodotto. <https://www.slideshare.net/GC-P/processo-di-sviluppo-prodotto>

Nel 1979 il tema viene trattato da un altro studioso, Crosby. Egli sosteneva che la qualità non costasse nulla, come il titolo di uno dei suoi lavori, "Quality is Free"<sup>6</sup>.

La differenza sostanziale tra questi due tipi di costi è che quelli della qualità sono facilmente rilevabili ed evidenti alle organizzazioni, che spesso commettono l'errore di trattarli alla stregua di tutti gli altri fattori indesiderati da eliminare o limitare. L'insidia dei costi "speculari" della non qualità è che sono composti da molteplici fattori, non facilmente rilevabili, ragion per cui sono spesso sottostimati, dando metaforicamente origine al cosiddetto iceberg sommerso. Anche se può sembrare oneroso è necessario trovare un modo per quantificarli, così da fare emergere le inefficienze e portarle all'attenzione del management<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Crosby P B. Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. McGraw-Hill. New York. 1979

<sup>7</sup> <https://www.magazinequalita.it/costi-non-qualita/>

Riassumendo:

### Costi della qualità

- Costi di prevenzione

Somma degli sforzi e degli investimenti che l'azienda compie per ridurre gli errori di progettazione, prototipazione, e nelle successive fasi di sviluppo prodotto. La scelta del livello di investimento è un fattore controllabile dall'azienda e riflette l'importanza che ricompre la qualità nella sua strategia.

- Costi di verifica/valutazione

Comprendono tutte le verifiche, le analisi e le raccolte dati fatte sul prodotto per controllare che rispetti tutte le specifiche desiderate. Questi costi non servono per correggere la causa del difetto, servono per rimediare all'errore e contenere i danni che il difetto potrebbe causare nel caso passasse inosservato i vari step produttivi.

### Costi della non qualità

- Costi dei difetti interni

Fanno la loro comparsa quando dal processo produttivo escono delle unità difettose che non rispondono ai requisiti del cliente. La gravità dei costi cambia a seconda del destino del bene in questione, che può essere rilavorato per divenire un prodotto conforme (scelta appropriata quando il costo della rilavorazione è inferiore al valore del semilavorato) o essere riciclato e scartato definitivamente.

- Costi dei difetti esterni

Comprendono tutte le perdite e i costi che gravano su un'azienda quando non è in grado di rilevare i difetti di lavorazione e consegna un bene che non soddisfa le specifiche. A questo punto il cliente ha la possibilità di

rifarsi del danno sull'azienda in molti modi, che vanno dal pagamento di una penale, alla pretesa di un ricontrollo a tappeto di tutti i pezzi spediti<sup>8</sup>.

Una sottocategoria di questi costi sono quelli intangibili, cioè gli “effetti collaterali” di difficile quantificazione, come i danni all'immagine che portano a mancate vendite, alla perdita di clienti e di quote di mercato.

In riferimento alle ultime considerazioni bisogna tenere presente che la perdita subita dall'impresa per effetto dell'errore esterno è di gran lunga superiore a quanto possa apparire da un semplice calcolo aritmetico.

Diventa quindi di primaria importanza ridurre tali costi sommersi, per aumentare i profitti aziendali e generare così nuove risorse da investire per garantire un processo di miglioramento continuo.

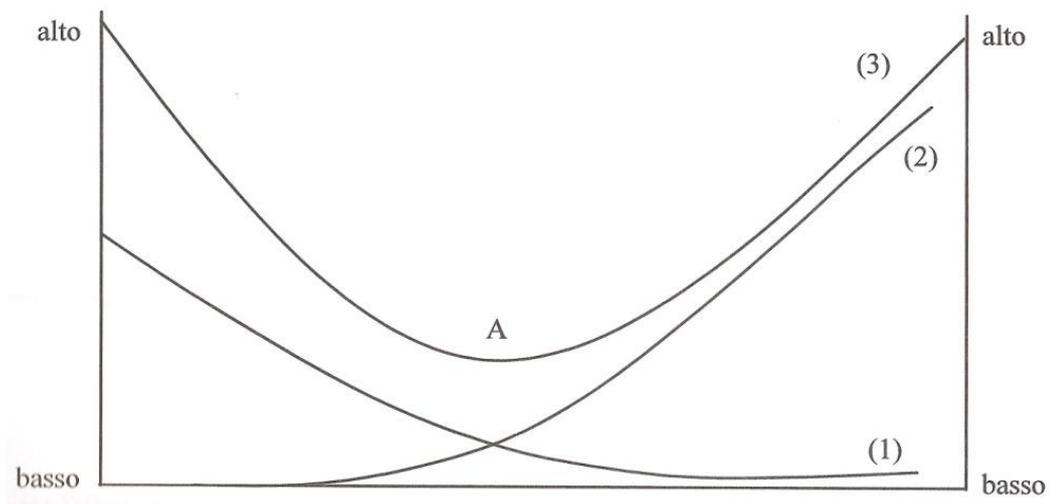


Figura 2: Costi totali di manutenzione. Si consideri: (1) Curva dei costi della non-qualità (2) Curva dei costi della qualità controllabili; (3) curva dei costi totali; A punto di minimizzazione dei costi diretti della non-qualità. Tratto da: Fazzarri A L., 2012; pp. 157.

Il grafico mostra come al crescere della qualità media del prodotto i costi della non qualità diminuiscono, al contrario quelli delle qualità aumentano. In corrispondenza del punto di minimo della funzione dei costi totali un ulteriore

<sup>8</sup> Corso di ingegneria della qualità. Prof. Galetto M. 2018. Politecnico di Torino.

investimento sul prodotto non comporta un miglioramento sensibilmente delle sue caratteristiche <sup>9</sup>.

Per ottenere un risultato positivo un'impresa deve lavorare contemporaneamente su diversi aspetti, in questo lavoro di tesi il focus sarà sulla riduzione dei difetti e dei tempi morti, aventi per causa problematiche di macchina, attraverso il miglioramento della gestione della manutenzione.

## 1.2 La Manutenzione

La norma UNI EN 13306 del 2003, definisce la manutenzione come "combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta"<sup>10</sup>.

Lo scopo primario della manutenzione è prevenire ed eliminare le perdite sugli impianti, che possono essere di diverso tipo:

➤ Perdite per fermo macchina

Dette anche Breakdown (BKD), rappresentano una delle forme più gravi di guasto, spesso necessitano di lunghi interventi di ripristino che possono ancora dilatarsi in base alla disponibilità dei manutentori e dei ricambi a magazzino. In molti casi la macchina lancia dei cosiddetti “segnali deboli” prima del verificarsi di un BKD, che se colti, potrebbero evitare l'insorgenza del problema nella sua piena gravità.

➤ Perdite per microfermate

Sono malfunzionamenti brevi, di lieve entità, ma se numerosi e intermittenti, la somma della disponibilità persa diventa una perdita da non sottovalutare. È importante quindi per un'impresa adottare dei sistemi

---

<sup>9</sup> Fazzarri A L. Sistemi di gestione per la qualità. G. Giapichelli Editore. Torino. 2012

<sup>10</sup> [https://it.wikiversity.org/wiki/Introduzione\\_alla\\_Manutenzione](https://it.wikiversity.org/wiki/Introduzione_alla_Manutenzione)

strutturati di raccolta dati per monitorare questi eventi ed eventualmente studiare delle contromisure per eliminarli.

➤ Perdite di velocità

Rappresentano un rallentamento del tempo ciclo, spesso passano inosservati giacché permettono alle macchine di lavorare. L'operatore ha il compito di avvisare la manutenzione se sospetta tale situazione.

➤ Perdite per difetti di lavorazione

Sporcizia e cattivo stato delle macchine, aumentano la probabilità di non conformità, costringendo l'azienda ad attività di rilavorazione, non a valore aggiunto.

La scelta di una corretta politica di manutenzione garantisce una buona condizione delle macchine, aumentando la percentuale di prodotti conformi e portando gli impianti a saturazione, generando savings sui ricambi e sulle perdite di produzione.

Nel 2016, l'indagine "Il parco macchine utensili e sistemi di produzione dell'industria italiana", a cura di Assolombarda Confindustria Milano Monza e Brianza, ha rilevato l'elevata età del parco macchine. Rispetto al 2005, infatti, il numero delle macchine utensili installate è calato del 11% e l'età media di quelle installate negli stabilimenti ha toccato i dodici anni e otto mesi<sup>11</sup>. Questo significa che in tutto il Paese sono presenti macchine obsolete, naturalmente soggette a guasti e a interventi di manutenzione frequenti.

Prima di analizzare le diverse politiche di manutenzione occorre premettere che non esiste una strategia migliore su tutte, infatti la strategia migliore è quella che risponde meglio alle esigenze dell'azienda e al tipo di produzione di cui si occupa.

---

<sup>11</sup> <http://www.ucimu.it/press/comunicati-stampa/v/2016/04/ucimu-sistemi-per-produrre-presentati-i-risultati-della-quinta-edizione-dellindagine-sul-parco-m-2/>

## 1.3 Politiche di manutenzione

L'approccio alla scelta della strategia di manutenzione ottimale è un passaggio fondamentale verso il raggiungimento di un sistema economico ed efficace dal punto di vista operativo.

Concentrare gli sforzi per ottimizzare la manutenzione esclusivamente minimizzando i costi porta spesso a bassi livelli affidabilità e un sistema sbilanciato che non gestisce i fattori correlati altrettanto importanti, come sicurezza, profitto, sostenibilità, supporto logistico e disponibilità della linea.

Khazraei e Deuse suggeriscono di definire la manutenzione nel contesto di una strategia, cioè “struttura che unisce la complessa rete di pensieri, idee, intuizioni, esperienze, obiettivi, ricordi, percezioni e aspettative in requisiti misurabili che indicano l’approccio da seguire per raggiungere l’obiettivo”<sup>12</sup>. Secondo la tassonomia suggerita da Khazraei e Deuse, le politiche possono essere suddivise in strategie che spiegano in che modo la manutenzione deve essere realizzata e come queste dovrebbero essere sistema o componente specifico e non applicate arbitrariamente su un intero equipment senza un'adeguata valutazione.

### Manutenzione correttiva

La norma UNI 9910 definisce la manutenzione correttiva come la manutenzione eseguita a seguito di una avaria e volta a riportare un'entità nelle condizioni di partenza in modo che possa assolvere alle sue funzioni. Il machina quindi, continua a lavorare finché si manifesta il malfunzionamento o la rottura di un componente, tale per cui la produzione non può proseguire<sup>13</sup>.

Vantaggi:

- Non richiede particolari cure preventive degli impianti

---

<sup>12</sup> Khazraei K, Deuse J. A strategic standpoint on maintenance taxonomy. Journal of Facility Management. 2011.

<sup>13</sup> <https://www.fixsoftware.com/run-to-failure-maintenance/>

- Non richiede particolari gestioni se non l'organizzazione del lavoro e del magazzino
- Se applicata correttamente, può essere economica

Svantaggi:

- Nessuna segnalazione di guasto / può presentare significativi rischi per l'ambiente e la sicurezza
- Fermi impianto non controllati, inaspettati e imprevedibili
- Può condurre a danni collaterali sulla qualità del prodotto
- Necessita di un consistente magazzino ricambi
- Generalmente elevati costi di riparazione.

La strategia correttiva, che rappresenta l'approccio di gestione più banale, conserva una sua validità qualora le tipologie di guasto siano facilmente riparabili, in un contesto produttivo dove siano presenti macchine duplicate che possano sostituirsi ad un'altra in riparazione, così da rendere l'impatto del fermo macchina trascurabile. Un'altra situazione in cui risulta efficace è il caso di una linea caratterizzata da deposito pezzi intermedi, i cosiddetti buffer, in grado di alimentare la linea durante l'intervento della manutenzione, scongiurando così la perdita di produzione.

### Manutenzione Preventiva

Intesa come manutenzione programmata, viene eseguita a intervalli predeterminati o quando vengono raggiunte condizioni o soglie predeterminate in termini di pezzi prodotti o cicli di lavoro. L'azione è intrapresa allo scopo di ridurre la probabilità di fallimento e controllare il degrado del sistema<sup>14</sup>.

La politica preventiva si basa quindi sulla sostituzione programmata di un determinato componente della macchina ancora perfettamente funzionante, con uno nuovo, in modo tale da prevenirne il cedimento incontrollato e schedulare i

---

<sup>14</sup> <http://manutenzione.ponesoft.it/Articoli/40.10.05.02.02>

fermi macchina nel modo più conveniente (il modo migliore è comunicare con la logistica e la produzione in modo da pianificare gli interventi durante un fermo linea già programmato).

Vantaggi:

- Riduzione dei BKD.
- Utilizzo di forza lavoro esterna nei picchi di lavoro pianificati, con contratti ad hoc.
- Il lavoro può essere correttamente pianificato in anticipo.

Svantaggi:

- Se si esagera con la “prevenzione”, l’attività di manutenzione ed i costi associati aumentano.
- Può essere applicata in modo efficace solo se si conoscono a fondo le macchine.
- L’attività di manutenzione può essere a volte causa di difetti per i componenti più delicati.
- Possono essere sostituiti componenti ancora nel pieno della loro vita utile.

Appare qui chiaro che la manutenzione preventiva/programmata, per quanto finora visto, è efficace sia in termini economici che di riduzione della indisponibilità della macchina quando il guasto presenta una certa regolarità di accadimento. Tuttavia, per i componenti più complessi, soprattutto quelli elettrici, la previsione di guasto diventa quasi impossibile. Nel caso di un alternatore ad esempio, si rischia realmente di sostituire un componente la cui vita utile è tutt’altro che terminata, tale scenario diventa sempre più grave all’aumentare del costo materiale del ricambio.

#### Manutenzione Predittiva o Condition Based

Le azioni predittive comprendono ispezioni e monitoraggio, rilevamenti e diagnostica con azioni correttive prima del fallimento funzionale. Una strategia

predittiva è appropriata per sistemi altamente complessi e componenti con maggiore criticità e forte influenza su accessibilità e obiettivi operativi<sup>15</sup>.

La manutenzione basata sulle condizioni (CBM) è una strategia di manutenzione che monitora le condizioni effettive di una risorsa, scegliendo uno o più parametri misurabili su cui effettuare la diagnostica del componente. La CBM stabilisce che la manutenzione deve essere eseguita solo quando alcuni indicatori mostrano segni di riduzione delle prestazioni o imminente fallimento. A differenza della manutenzione programmata, in cui la manutenzione viene eseguita in base a intervalli programmati predefiniti, la manutenzione in base alle condizioni viene eseguita solo dopo che è stata osservata una deriva dai range di funzionamento normali.

I sistemi generalmente adottati per il monitoraggio in ambiente industriale possono essere distinti in:

- Sistemi di acquisizione distribuiti, nei quali i dati sono forniti da strumenti e apparecchiature portatili posizionati in punti di misura definiti a priori
- Sistemi di acquisizione manuali, in cui i dati vengono manualmente raccolti dagli operatori senza coinvolgere strumenti posizionati in modo stabile sulla macchina
- Sistemi continui, sensori nei quali i dati relativi a svariati parametri di funzionamento, che potrebbero convogliare segnali deboli premonitori di guasto della macchina, vengono acquisiti a intervalli regolari e piuttosto brevi. Questi sistemi sono costosi ma offrono il più alto grado di copertura nei confronti del guasto

Questi ultimi sono i dispositivi maggiormente impiegati nell'industria 4.0. La quarta rivoluzione industriale si sviluppa sulle fondamenta della terza a cui si deve l'introduzione della robotica e si pone l'obiettivo di creare una fabbrica smart, dove le macchine comunicano tra loro scambiandosi dati (comunicazione

---

<sup>15</sup> <https://www.fixsoftware.com/maintenance-strategies/predictive-maintenance/>

macchina-macchina e macchina-uomo). Alla base di questa nuova concezione di industria c'è la Data Science, ovvero la scienza dei dati, processo “matematico-creativo” che si articola nelle seguenti fasi<sup>16</sup>:

- Grazie ai sensori posti sulle macchine, vengono costantemente raccolti e condivisi dati tramite sistemi bluetooth, in modo da essere sempre disponibili in tempo reale.
- Si genera un grande quantità di dati che, a seconda delle aziende e dei processi, può raggiungere l'ordine dei terabyte, entrando così nella categoria dei Big Data (dati che non possono essere manipolati da computer ordinari, ma richiedono sistemi dedicati da una dozzina di migliaia di euro circa). Queste informazioni vengono elaborate servendosi della matematica e della statistica per divenire fruibili da tutti, a misura d'uomo.
- A questo punto un sistema informativo viene appositamente creato per tradurre, in tempo reale, le informazioni nel linguaggio del management: i KPI.

Lo scopo ultimo dell'industria 4.0 è il “machine learning”, cioè insegnare le macchine a imparare dalle esperienze, in modo che possano autocorreggersi quando una situazione rischiosa viene rilevata. Il processo precedentemente descritto, permette di prendere decisioni, non più sulla base dello storico, dell'esperienza o dell'istinto, bensì sui dati (decisioni data-driven, guidate dai dati). È questo il vero valore dell'industria 4.0, il dato, una ricchezza che diventa accessibile grazie alle tecnologie odierne<sup>17</sup>.

Esistono molteplici analisi per monitorare i parametri necessari al funzionamento della CBM<sup>18</sup>:

---

<sup>16</sup> Roggia L, Apply science srl. Data science and industry 4.0. A&T Torino 13 febbraio 2019.

<sup>17</sup> <https://www.hardwire.io/it/iot/blog/machine-to-machine-iot>

<sup>18</sup> <https://www.crit-research.it/it/tecnologia/prognostica-e-manutenzione-preventiva/>

- Analisi delle vibrazioni: le apparecchiature rotanti come compressori, pompe e motori presentano tutti un certo grado di vibrazione. Man mano che si degradano e si disallineano, aumenta la quantità di vibrazioni
- Termografia: le telecamere IR possono essere utilizzate per rilevare condizioni di alta temperatura in apparecchiature energizzate
- Ultrasuoni: rilevamento di difetti profondi nel materiale o utilizzata per rilevare le perdite d'aria compressa
- Analisi dell'olio: misura il numero e le dimensioni delle particelle in un campione per determinare l'usura delle risorse
- Elettrico: letture della corrente del motore usando un morsetto su amperometri
- Prestazioni operative: i sensori di un sistema misurano pressione, temperatura, flusso, ecc.

#### Vantaggi:

Rispetto alla manutenzione preventiva, la manutenzione predittiva assicura di intervenire un'istante prima di un imminente guasto. Ciò riduce il costo speso per la manutenzione delle apparecchiature e i costi dei ricambi stessi, aumentando la disponibilità della linea.

#### Svantaggi:

Rispetto alla manutenzione preventiva, il costo delle apparecchiature di monitoraggio delle condizioni comporta un investimento maggiore. Anche il livello di competenza e l'esperienza richieste per interpretare in modo accurato i dati sono elevati. Combinati, questi effetti possono significare che il CBM, a fronte dei ritorni maggiori in termini di savings, presenta il costo iniziale più elevato, motivo per cui tutt'ora molte aziende non annoverano la CBM tra le strategie utilizzate.

## Manutenzione Proattiva o Migliorativa

L'importanza della Manutenzione Migliorativa risiede nella natura delle macchine industriali. Esse sono un tipo particolare di prodotto, caratterizzato da una produzione a piccoli lotti e spesso customizzate, conseguentemente sono più complesse e costruite su progetti "meno collaudati" rispetto ai prodotti altamente serializzati che ricevono continui feedback dagli utilizzatori.

Fanno parte di questa strategia tutti gli interventi che non dipendono direttamente da un evento di guasto ma che cercano, grazie all'esperienza maturata sul sistema stesso, di migliorare le performance complessive del sistema la facilità di intervento<sup>19</sup>.

### 1.4 Criteri di scelta per le strategie di manutenzione

A seconda della fase nel ciclo vita in cui si trova l'oggetto da mantenere si possono fare diverse considerazioni:

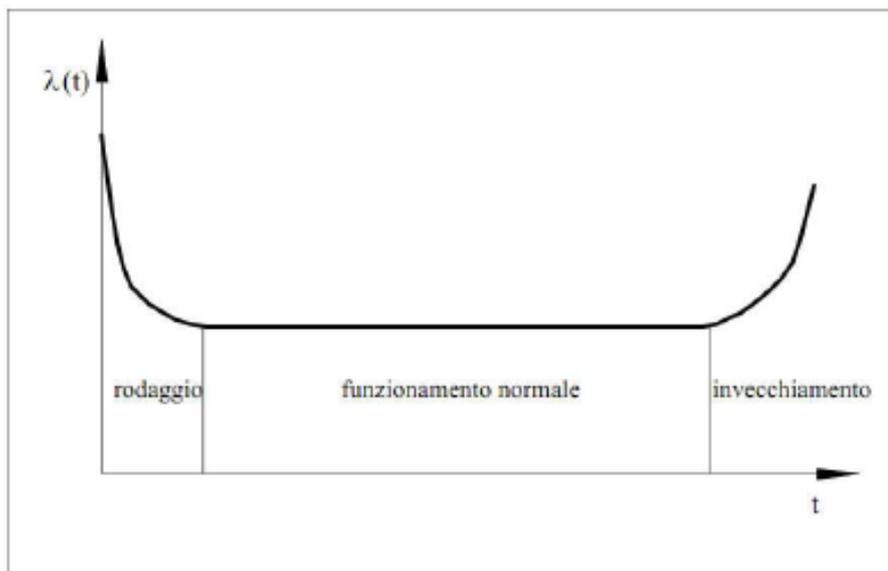


Figura 3: Modello "a vasca da bagno", descrive l'andamento dei fallimenti lungo l'intero ciclo di vita.

<sup>19</sup> <http://manutenzione.ponesoft.it/Articoli/40.10.05.02.02>

$\lambda(t)$  = Failure Rate

Nella fase di rodaggio conviene utilizzare politiche correttive o su condizione, i componenti sono soggetti a osservazioni periodiche al fine di identificare le condizioni ordinarie di funzionamento,  $\lambda(t)$  decresce nel tempo

Una volta assestate le macchine e compreso il loro funzionamento, si passa alla fase di funzionamento normale dove  $\lambda(t)$  risulta costante. Conviene predisporre politiche predittive e migliorative, per prevenire guasti che minerebbero la produttività dell'impianto e garantirne la saturazione. In fine, si arriva purtroppo alla fase di invecchiamento, fase di usura dove i componenti sono più delicati e necessitano ancora di politiche predittive affiancate da politiche preventive. In questa fase il numero dei guasti aumenta, quindi si predispongono all'occorrenza misure correttive.



Figura 4: criterio di scelta della strategia in base all'intensità dei parametri frequenza e gravità.

Il grafico prende in esame due possibili criteri quali gravità del guasto e frequenza di accadimento. Maggiore è l'incidenza di questi fattori, maggiore sarà la necessità di un intervento predittivo fino alla modifica del macchinario nei casi

più estremi. Il modello oggetto del caso aziendale, trattato nel capitolo 3, comprenderà un terzo importante parametro, ovvero il costo del componente<sup>20</sup>.

La norma UNI 10366 del 2007 stabilisce tre situazioni per stabilire il tipo di manutenzione:

- Esistenza di segnali deboli che anticipano il guasto
- Possibilità di monitorare o meno il segnale per interpretare lo stato di salute
- Eventuali informazioni aggiuntive fornite dal costruttore della macchina

Sulla base di queste tre caratteristiche, il processo decisionale risulta:

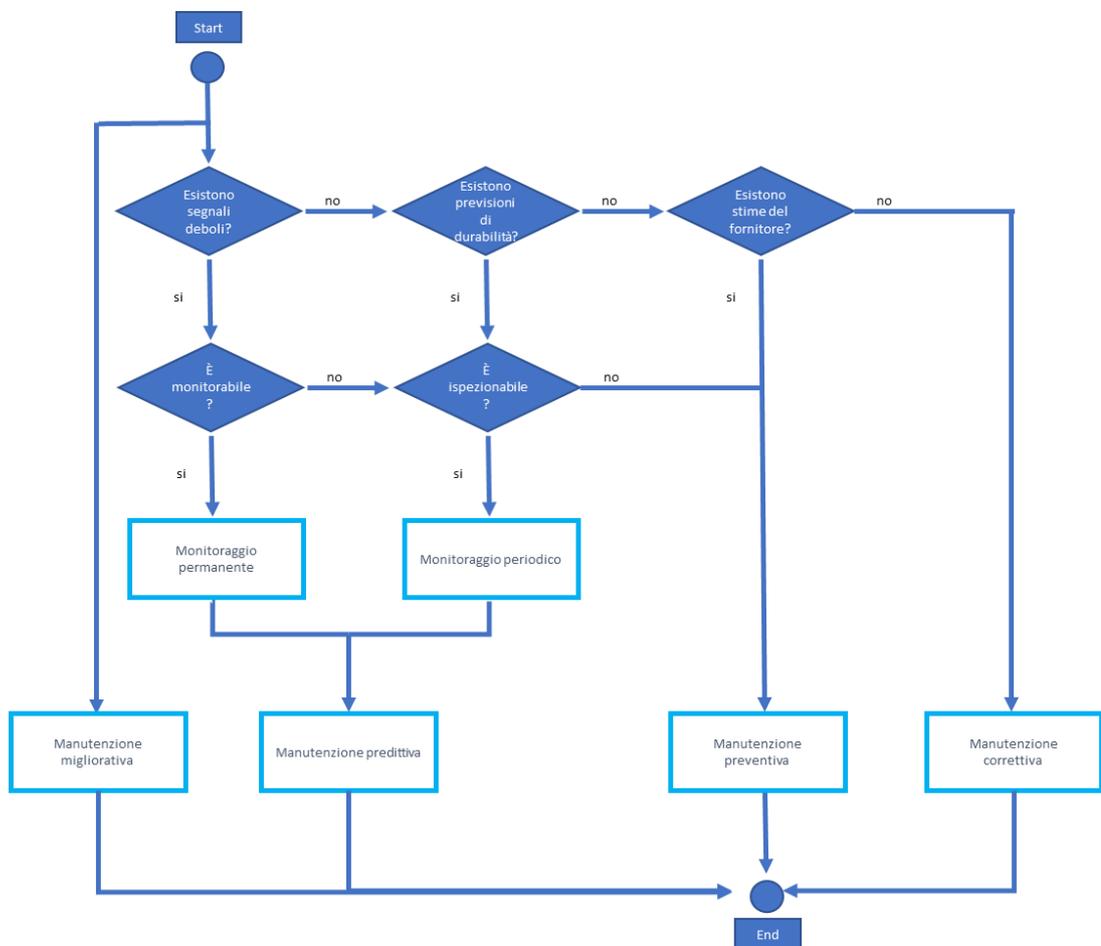


Figura 5: Flow Chart sulle dinamiche del processo decisionale basato sulle tre situazioni descritte dalla norma UNI 10366.

<sup>20</sup> AIMAN. Le dinamiche della manutenzione. 2006

## Cap 2: Total Productive Maintenance

### 2.1 TPM

Oltre alle strategie di manutenzione “professionali” ad operare del personale specializzato, descritte nel precedente capitolo, esiste un’azione ulteriore e indipendente sostenuta dai veri possessori dell’impianto: l’automanutenzione. L’operatore si prende cura per primo della sua postazione, questo fenomeno prende il nome di Manutenzione Produttiva o TPM.

La Total Productive Maintenance (TPM) deriva ed è parte integrante della filosofia Kaizen e può essere definita come:

*“Uno sforzo a livello dell’intera organizzazione tecnico produttiva aziendale per migliorare la qualità negli impianti e garantirne l’efficacia”<sup>21</sup>.*

*TOTAL che compete a tutti / che mira ad eliminare ogni possibile difetto,*

*PRODUCTIVE che riduce le cause di indisponibilità / che minimizza i problemi,*

*MAINTENANCE che mantiene gli impianti in buone condizioni d’uso / che conserva le macchine di produzione pulite e funzionanti”.*

Si fonda sull’idea che tutti i membri di un’organizzazione debbano partecipare alla manutenzione, piuttosto che il solo team di manutentori come avveniva tradizionalmente. Sotto la filosofia di TPM, tutti, dalla gestione di alto livello agli operatori di attrezzature, possono dare un contributo a mantenere gli impianti, ognuno con diverse skill. Per diffondere tale consapevolezza, tutto il management deve credere e promuovere le attività di TPM.

Gli operatori diventano i proprietari dei beni affidategli dall’azienda, il che significa che devono assumersi la responsabilità della manutenzione quotidiana

---

<sup>21</sup> Faragò A. TPM: La manutenzione in ottica LEAN. Logistica Management. Settembre 2016.

delle macchine. Ciò include la pulizia e la lubrificazione regolare, necessaria per la salute delle attrezzature, che diventa ispezione funzionale all'individuazione dei segnali deboli di guasto futuro. Gli operatori instaurano un rapporto di collaborazione con i manutentori, fornendo suggerimenti per migliorare la funzionalità delle postazioni e ricevendo supporto nelle attività di automanutenzione.

#### Vantaggi del TPM

- Meno guasti

Quando gli operatori della macchina tengono d'occhio i cambiamenti con le loro attrezzature, è probabile che i problemi più grandi vengano individuati in anticipo, prima che si verifichi un guasto. Ciò consente al team di manutenzione di aggiornare il programma di manutenzioni pianificate.

- Posto di lavoro più sicuro

I tecnici sono molto più propensi a correre dei rischi quando si affrettano a riparare un guasto, quindi un minor numero di guasti generalmente significa ritmi più tranquilli e un posto di lavoro più sicuro. Inoltre, il controllo degli operatori può prevenire situazioni potenzialmente pericolose.

- Migliori prestazioni generali

Se una parte dei piccoli lavori passa in mano agli operatori, i manutentori possono concentrarsi sui lavori più grandi e le prestazioni generali della struttura aumentano.

## 2.1.1 Gli otto pilastri del TPM

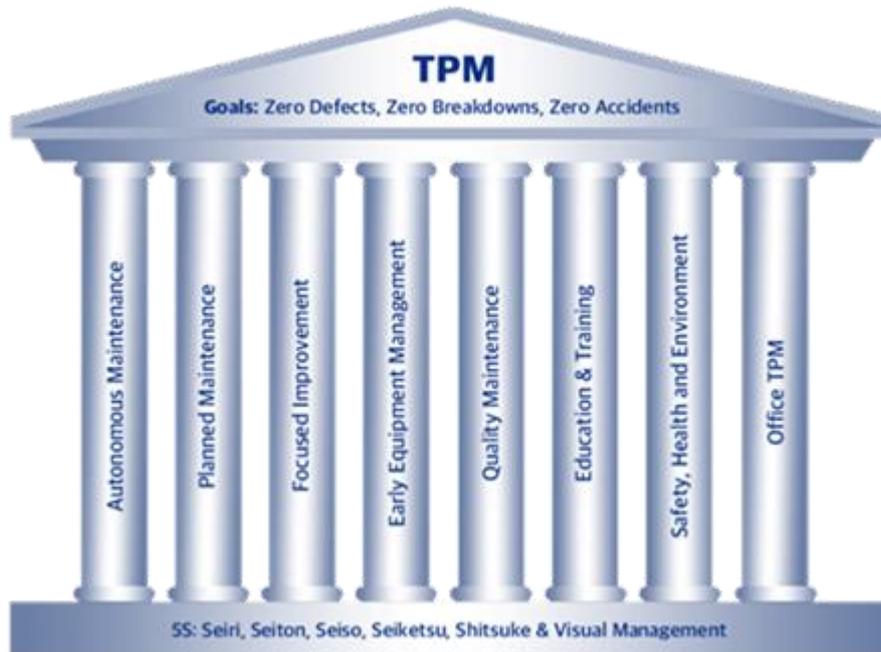


Figura 6: Otto pilastri del TPM. Tratto da: [www.4improvement.one](http://www.4improvement.one)

- **Autonomous Maintenance:** l'operatività degli impianti gestita direttamente dagli operatori.
- **Planned Maintenance:** la gestione corretta e pianificata degli impianti a cura del team di manutenzione.
- **Focused Improvement:** studio e raggiungimento del miglioramento continuo dei processi produttivi basato sull'approccio Kaizen (trattati nel prossimo paragrafo).
- **Early Equipment Management:** garantire soluzioni tecnologiche di facile manutenzione, nel rispetto dei tempi di lancio dei nuovi prodotti e dell'impatto economico sul ciclo vita delle attrezzature.
- **Quality Maintenance:** migliorare la qualità generale, attraverso l'eliminazione delle cause di malfunzionamento di macchine e attrezzature.

- **Education & Training:** costante formazione del personale e aumento delle competenze.
- **Safety & environment:** gestione della sicurezza e degli sprechi energetici
- **TPM Office:** l'efficienza e miglioramento continuo applicato anche negli uffici<sup>22</sup>

Alla base del tempietto risiedono le 5S del Kaizen, a dimostrazione di come la TPM non esista da sola, ma sia uno degli elementi costituenti di un sistema più ampio.

## 2.2 L'essenza della Lean Production: il Kaizen

Il Kaizen è la filosofia da cui si è sviluppato il Toyota Production System, anche conosciuto come Lean Production, una politica aziendale trasversale, che permea tutte le aree funzionali. Esso si basa sull'ottimizzazione dei processi di produzione attraverso l'analisi della catena del valore, con lo scopo di identificare e rimuovere tutte le operazioni “non a valore aggiunto”, gli sprechi (MUDA in giapponese) e ottenere finalmente un flusso stabile e costante di materiale, nella giusta quantità, con la qualità assicurata e al momento necessario. L'eliminazione delle inefficienze, si traduce in un aumento del margine sul prezzo di vendita del prodotto, creando nuova ricchezza per l'impresa. L'obiettivo è la perfezione, facendo del Kaizen un processo che non conosce fine, fatto di piccoli miglioramenti costanti<sup>23</sup>; “*Anche un viaggio di mille miglia inizia con un primo passo*”, Laozi (filosofo cinese, 500 a.c. circa).

---

<sup>22</sup><http://www.leanevolution.com/blog/lean-management/tpm-total-productive-maintenance-pilastr-di-lean-manufacturing/>

<sup>23</sup> Womack J P. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Journal of the Operational Research Society. 48(11). November 1997

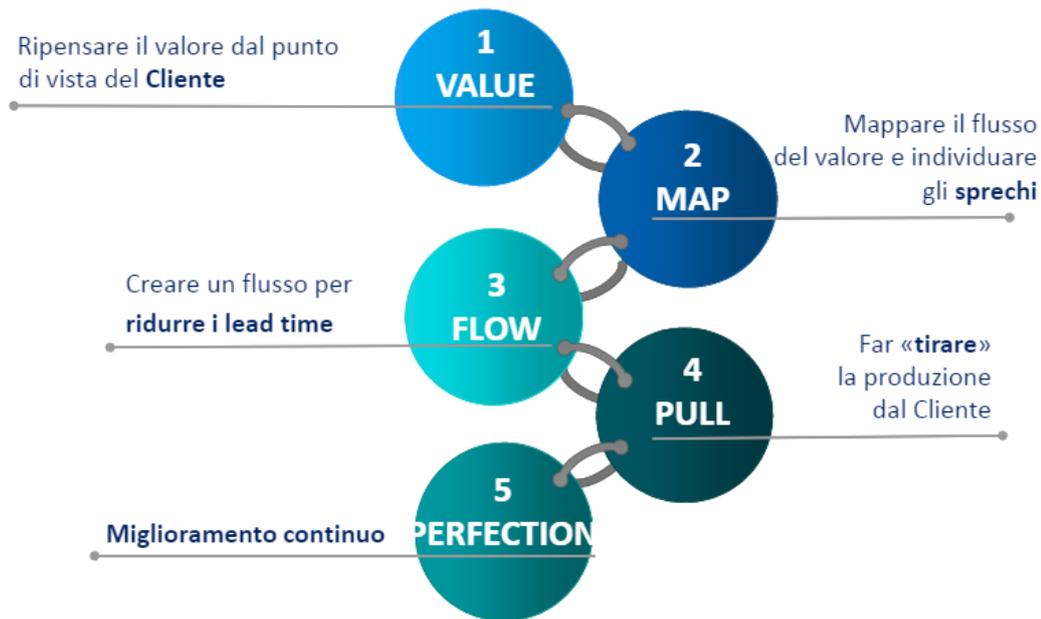


Figure 1: I 5 principi del Lean Thinking; Tratto da: *Lean Management: migliorare per crescere. Praxi. Ottobre 2016.*

### 2.2.1 Le origini della filosofia

**Kaizen** (改善) è la composizione di due termini giapponesi, KAI (cambiamento, miglioramento) e ZEN (buono, migliore), e significa *cambiare in meglio, miglioramento continuo*. È stato coniato da Masaaki Imai nel 1986<sup>[</sup> (Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success) per descrivere la filosofia di business che supportava i successi dell'industria nipponica negli anni '80.

La storia del Kaizen comincia nel secondo dopo guerra quando le forze d'occupazione statunitensi portarono in Giappone alcuni esperti in business management per risollevere l'industria giapponese. Fino agli anni cinquanta i prodotti nipponici erano percepiti come scadenti imitazioni di quelli americani. I giapponesi riconobbero il problema e cercarono una soluzione con l'aiuto di alcuni guru della qualità di quegli anni, come Juran, Deming e Feigenbaum. Ci

vollero dieci anni per ribaltare la situazione, attraverso la massiccia introduzione del controllo qualità nell'industria manifatturiera<sup>24</sup>.

Il progetto venne avviato dal governo giapponese con l'istituzione dell'*Economic and Scientific Section group* (ESS) che realizzò il programma Training Within Industry (TWI) già nel 1951. Per diffondere il programma venne creato un filmato intitolato *Kaizen eno Yon Dankai*, ovvero il Kaizen in 4 passi, coniato per la prima volta il termine<sup>25</sup>.

Negli anni Sessanta, grazie a queste migliorie, i prodotti giapponesi riuscirono a penetrare il mercato americano. I grandi esperti di business divennero i giapponesi, Non a caso, la prima conferenza internazionale sulla qualità fu tenuta a Tokio nel 1969[8]. Proprio in quella occasione vennero poste le basi degli sviluppi futuri della qualità grazie all'intervento di Feigenbaum, che introdusse il concetto di Qualità Totale.

I successi collezionati negli anni Settanta e Ottanta, Imposero il Kaizen e il Toyota Production System (TPS) come modello di ispirazione per l'industria manifatturiera e dei servizi. I principi del TPS furono raccolti, nel 1986, in quella che divenne la “bibbia del Kaizen”: *Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success* di Masaaki Imai.

### 2.2.2 I Muda

Qualsiasi attività che assorbe risorse, ma non crea valore è un Muda. La classificazione dei Muda si deve a Taiichi Ohno, che identificò 7 diverse tipologie<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> [www.businessballs.com/dtiresources/quality\\_management\\_history.pdf](http://www.businessballs.com/dtiresources/quality_management_history.pdf)

<sup>25</sup> <https://it.kaizen.com/conosci-kaizen/origini-e-storia.html>

<sup>26</sup> Taiichi Ohno. *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. 1988



Figura 7: I 7 Muda; Tratto da: MAHLE. Corso di Basic Kaizen. Dicembre 2007.

Il primo passo per eliminarli è ovviamente identificarli, possiamo distinguerli come segue:

❖ **Sovrapproduzione**

Il peggior spreco secondo Ohno, si palesa quando la produzione e la domanda non sono sincronizzate. Le cause possono essere previsioni sbagliate, forniture eccessive o il tentativo di saturare gli impianti con l'illusione di abbattere i costi produzione. Tra conseguenze negative figurano, aumento dei Lead Time, rischio di obsolescenza e aumento del magazzino.

❖ **Scorte**

La produzione classica, a lotti, incentiva l'accumulo di questo Muda, che porta con sé l'effetto collaterale di "annegare" i problemi dell'organizzazione.



Figure 2: Raffigurazione della metafora del “mare delle scorte”. Tratto da: <http://www.staufenitalia.it>

In molti casi infatti la risposta più semplice ed immediata a problemi come l’inaffidabilità di un fornitore, lo sbilanciamento di una linea, la poca costanza di produttività di una postazione o la bassa polivalenza degli operatori è stata quella di alzare il livello delle scorte.

Risulta chiara quindi la centralità della lotta alle scorte nella metodologia Lean volta da una parte ad eliminare gli sprechi relativi allo stoccaggio e alla gestione di queste scorte, dall’altra stressare sempre più il sistema per far emergere i problemi precedentemente nascosti<sup>27</sup>.

❖ **Attese**

È uno spreco che si manifesta quando ci sono tempi morti e improduttivi e si traduce automaticamente in un aumento del Lead Time. Può essere occasionale, se dovuta a un guasto o a una mancata fornitura, oppure sistematiche il processo produttivo è sbilanciato.

❖ **Difetti**

Quando gli standard qualitativi non vengono raggiunti, si generano scarti di lavorazione. Nel migliore dei casi sono rilevati in azienda e risolti con una rilavorazione, attività non a valore aggiunto. Il caso più grave si

<sup>27</sup> <http://www.staufenitalia.it/scorte-la-causa-e-la-soluzione-di-tutti-i-problemi/#more-2199>

verifica quando le difettosità vengono rilevate dal cliente, portando a tutta una serie di ripercussioni più gravi descritte nel paragrafo sui costi della non qualità. Lo strumento dei Poka-yoke serve proprio scongiurare tale situazione. Poka-yoke<sup>28</sup> è un termine giapponese utilizzato nel settore del disegno industriale per indicare una scelta progettuale o un'apparecchiatura che, ponendo dei limiti al modo in cui una operazione può essere compiuta, forza l'utilizzatore ad una corretta esecuzione della stessa. Il concetto espresso dalla parola composta giapponese è, infatti, quello di «evitare (yokeru) gli errori di distrazione (poka)».

❖ Movimenti

Eccesso di movimentazione causato da un layout mal progettato, sovradimensionato e non ergonomico, che causa perdita di tempo affaticamento dell'operatore e aumenta il rischio di infortuni.

❖ Trasporto

Movimentazione inefficiente dei materiali, causata da una non ottimale organizzazione del lavoro e un layout della fabbrica progettato senza pensare alla logica dei flussi.

❖ Inefficienze di processo

Generate da lavorazioni ridondanti, con inutile consumo di tempo e risorse, dovute a fasi precedenti non ottimizzate o alla tecnologia degli impianti arretrata e inadatta.

Oltre ai sette muda classici, un ottavo importante spreco è riconosciuto in letteratura, lo spreco di talento: non sfruttare appieno le competenze del personale, reprimendone le capacità latenti<sup>29</sup>.

---

<sup>28</sup> <http://leanvalley.eu/2010/03/1009-glossario-poka-yoke/>

<sup>29</sup> Galgano A. Le tre rivoluzioni. Caccia agli sprechi: raddoppiare la produttività con la Lean Production. Milano. Guerini e Associati. 2002.

### 2.2.3 Le 5 S

Il metodo delle 5S è procedura in cinque step da applicare sulle postazioni di lavoro o negli uffici, in grado di snellire e ottimizzare i processi, coinvolgendo e responsabilizzando le risorse umane, a tutti i livelli gerarchici<sup>30</sup>.

- *Seiri* (Sort)  
Separare il necessario dal superfluo, mantenendo a portata di mano solo l'indispensabile. Tutti gli strumenti e le attrezzature raramente utilizzate devono essere collocati in un'altra area.
- *Seiton* (Set in order)  
Rendere l'attrezzatura immediatamente disponibile nella logica "un posto per ogni cosa e ogni cosa al suo posto".
- *Seiso* (Shine)  
Mantenere le postazioni e le attrezzature pulite mentre si esegue un controllo delle stesse, in modo da cogliere eventuali segnali deboli.
- *Seiketsu* (Standardize)  
Implementare procedure standard di lavoro, organizzazione e pulizia per tutte le postazioni e il personale dell'azienda.
- *Shitsuke* (Sustain)  
Sostenere il miglioramento continuo con audit sistematici per monitorare il livello raggiunto (rispetto ai parametri delle 5S) e per l'individuazione di nuovi obiettivi.

In ottica di continuous improvement vengono sviluppati progetti periodici di applicazione delle 5S, focalizzati essenzialmente su:

- ❖ Ordine e organizzazione delle postazioni di lavoro
- ❖ Pulizia, intesa come ispezione delle macchine

---

<sup>30</sup> <https://www.leanthinking.it>

- ❖ Standardizzazione
- ❖ Comunicazione e Visual management

L'obiettivo è di abbattere i tempi improduttivi, ottimizzare il livello delle scorte, ridurre il livello di difettosità dei prodotti, migliorare la pulizia e la sicurezza dell'ambiente di lavoro e aumentare il coinvolgimento e la consapevolezza del personale.

## 2.3 Indicatori di prestazione

Ogni attività organizzata si basa sulle informazioni e sulle modalità con cui queste vengono create, ordinate e rese disponibili. In generale, le condizioni da rispettare per poter costruire un sistema informativo di manutenzione sono:

- ❖ i dati su frequenza, natura e durata dei guasti;
- ❖ la conoscenza, con cui quegli stessi dati vengono trasformati in procedure, programmi, controlli e azioni di miglioramento.

Per quanto attiene ai dati, occorre definirli, raccogliarli, verificarli e associarli agli eventi anomali per misurare, attraverso pochi KPI o indicatori, efficacia ed efficienza dei processi di prevenzione dei malfunzionamenti e di ripristino dell'operatività dell'impianto<sup>31</sup>.

Un indicatore è, secondo la norma UNI 10388 (10/94), un rapporto di due dati destinato a:

- rappresentare un evento determinato in modo obiettivo e preciso
- controllare il grado di raggiungimento degli obiettivi

---

<sup>31</sup> Faragò A. TPM: La manutenzione in ottica LEAN. Logistica Management. Settembre 2016.

- essere comparato tra unità distinte della stessa impresa o tra imprese o settori diversi

Ci sono indici generali che danno indicazioni sul rapporto tra l'utilizzazione degli impianti (volumi di prodotti) e il costo di manutenzione (esempio spesa annua di manutenzione / fatturato, spesa annua di manutenzione / costo a nuovo degli impianti).

Secondo il paradigma Lean tali dati devono essere esposti in modo visual e intuitivo, per coinvolgere e rendere il personale consapevole sull'andamento delle performance.

### 2.3.1 OEE e OEU

- *Overall Equipment Utilization* (OEU), indicatore ancora più severo che non si limita a misurare la quantità prodotta, ma pone l'attenzione sulla qualità e sulla capacità di fare pezzi "buoni al primo colpo".

$$OEU = \frac{\text{Totale prodotto} - \text{Non conformi}}{\text{Capacità impianto}}$$

- *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), un KPI significativo per analizzare lo stato generale di un sistema produttivo e verificare l'efficacia delle soluzioni di miglioramento proposte misurandone il trend nel tempo.

$$OEE = \frac{\text{Totale prodotto}}{\text{Capacità impianto}}$$

### 2.3.2 MTBF e MTTR

- *Mean Time Between Failure* (MTBF) è un indicatore di efficacia dell'attività manutentiva, che si riflette sulla frequenza dei guast e sul tempo medio che intercorre tra essi.

$$MTBF = \frac{\text{Ore Lavorate} - \text{Ore di BKD}}{\text{Numero di BKD}}$$

- *Mean Time To Repair* (MTTR) è un indicatore di efficienza, sulla tempestività del servizio di manutenzione nel riportare la macchina in condizioni operative.

$$MTTR = \frac{\text{Ore di BKD}}{\text{Numero di BKD}}$$

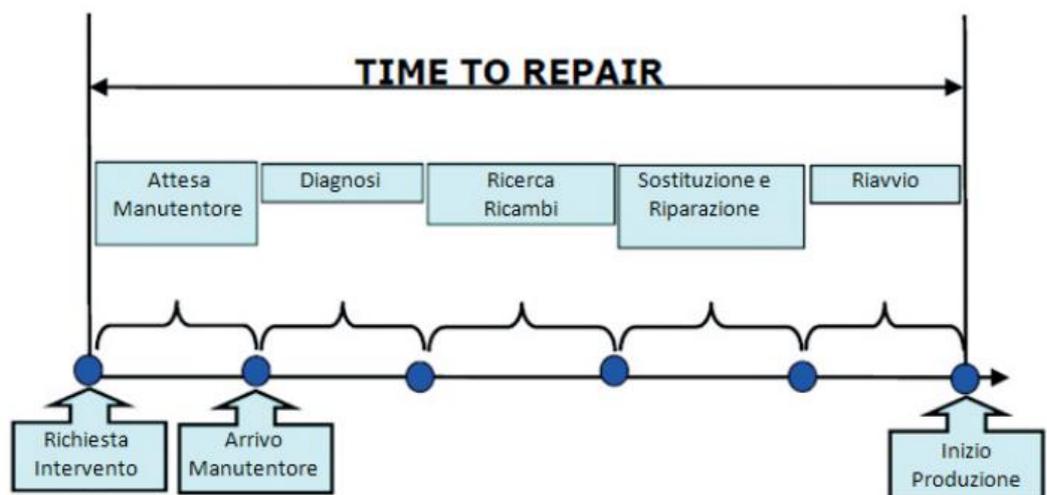


Figura 8: Algoritmo del Time To Repair. Tratto da: Faragò A. TPM: La manutenzione in ottica LEAN. Logistica Management. Settembre 2016.

## 2.4 L'apporto dell'industria 4.0 all'evoluzione della Lean Production

In prima battuta, i due paradigmi sembrano avere approcci e finalità diversi: la velocità ed il “real time” dell'industria 4.0, con i suoi cloud e big data, si contrappone al processo lento e senza fine del Kaizen, caratterizzato dalla gestione visual a misura di uomo<sup>32</sup>.

Il “Lean 4.0” potrebbe essere il nuovo “paradigma manageriale” per gli anni a venire, come evidenziato nell'articolo dei professori Terzi, Miragliotta, Macchi e Portioli, del Politecnico di Milano<sup>33</sup>. Le conclusioni più importanti sono:

- L'evoluzione 4.0 è in grado di semplificare alcuni processi Lean. *“Ad esempio, lo Smart TPM consente di realizzare i concetti base del TPM, eliminando il muda della raccolta sistematica dei dati; ciò consente agli operatori di concentrarsi sulle attività a valore di diagnosi ed individuazione delle contromisure”*<sup>34</sup>.
- L'integrazione dei due sistemi semplifica l'applicazione della filosofia Lean anche a contesti per cui non è stata pensata, caratterizzati da alta variabilità e bassi volumi.
- L'industria 4.0 tende a delegare la risoluzione dei problemi a specialisti e data scientist, la Lean fa da contraltare, tirando in ballo il personale operativo.

---

<sup>32</sup> <https://www.manutenzione-online.com/digital/2019/gen/>

<sup>33</sup> Lean manufacturing, tutti i progressi possibili grazie a Industria 4.0. Prof. Terzi, Miragliotta, Macchi, Portioli. Politecnico di Milano.

<sup>34</sup> <http://www.staufenitalia.it/lean-e-4-0-ce-sinergia/>

## Cap 3: Il caso di studio

### 3.1 Il contesto aziendale

L'azienda ospitante che ha commissionato il progetto di tesi è la "MAHLE Componenti Motori Italia" con sede a La Loggia, uno stabilimento appartenente al MAHLE Group, un fornitore leader a livello internazionale dell'industria automobilistica. Con una gamma di prodotti che spazia dai motori a combustione e periferiche, alle soluzioni per i veicoli elettrici. Questo gruppo industriale copre tutte le importanti esigenze poste dall'intera catena cinematica e della tecnica della climatizzazione: dai sistemi e componenti motore alla filtrazione, fino alla gestione termica del motore.

Globalmente, un veicolo su due monta prodotti MAHLE. I componenti e i sistemi MAHLE trovano impiego anche fuori dal contesto stradale, sia in applicazioni stazionarie che mobili, su rotaia e nell'aeronautica. Nel 2015, il gruppo con i suoi circa 76.000 dipendenti ha realizzato un fatturato di 11,5 miliardi di Euro ed è presente in 34 paesi con 170 siti di produzione. In 15 grandi centri di Ricerca e Sviluppo distribuiti in Germania, Gran Bretagna, Lussemburgo, Slovenia, Stati Uniti d'America, Brasile, Giappone, Cina e India, sono oltre 6.000 gli ingegneri e i tecnici addetti allo sviluppo che lavorano a innumerevoli soluzioni innovative per la mobilità del futuro<sup>35</sup>.

Il Gruppo MAHLE è composto da quattro business units: Sistemi e componenti motore, Periferiche filtrazione e motore, Gestione termica e Aftermarket. A ciò si aggiungono la divisione Mechatronics e cinque centri di profitto, che servono specifici segmenti di mercato e clienti<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> <https://formula1.ferrari.com/it/partner/mahle/>

<sup>36</sup> <https://www.mahle.com/en/about-mahle/group-organization/>

- Engineering Services, Motorsports, and Special Applications  
Questo centro di profitto sviluppa e produce componenti motore di alta gamma per l'intera industria degli sport motoristici, nonché componenti e sistemi per veicoli di produzione ad alte prestazioni.
  
- Large and Small Engine Components  
Il PC Large e Small Engine Components è partner di tutti i principali produttori di motori. MAHLE lavora a stretto contatto con i produttori per sviluppare nuovi materiali per motori più robusti e ancora più efficienti. L'ottimizzazione dei componenti e dei sistemi esistenti gioca qui un ruolo importante.
  
- Industrial Thermal Management  
Il centro di profitto La gestione termica industriale, sviluppa sistemi di raffreddamento e condizionamento dell'aria e soluzioni complete per la gestione termica che vengono utilizzate su vari tipi di veicolo.
  
- Control Units  
Il centro di profitto Control Units sviluppa e produce dispositivi di controllo e funzionamento per la climatizzazione dei veicoli. La gamma comprende dispositivi operativi semplici, meccanici, semi-automatici e completamente automatici con un alto grado di funzionamento semplice e intuitivo.
  
- Compressors  
Questo centro di profitto include il business dei compressori dell'ex Delphi Thermal. MAHLE ha acquisito la divisione di gestione termica del fornitore automobilistico statunitense Delphi Automotive PLC alla fine di giugno 2015. Il centro di profitto Compressors è specializzato nella

produzione, sviluppo e vendita di compressori per impianti di climatizzazione.

Nel 1964, i fondatori delle società Hermann e il Dr. Ernst Mahle trasferirono il 99,9% della proprietà della Società alla Fondazione MAHLE e lo 0,1% alla MABEG, che aveva il diritto di voto unico nella società. L'obiettivo era quello di portare la Società fuori dalla linea di successione al fine di evitare possibili frammentazioni.

Ogni anno la Fondazione MAHLE supporta circa 150 progetti in tutto il mondo, molti dei quali non fanno parte del suo core business, nell'ottica di "semina oggi, raccogli domani".

Il gruppo collabora e supporta le start-up innovative, che hanno una stretta relazione con i principali segmenti di business MAHLE, fornendo capitale e una rete mondiale di ricerca e sviluppo, produzione e vendite. Collaborare con le aziende emergenti significa mantenere e rafforzare la propria posizione competitiva.

Inoltre, MAHLE partecipa a Emerald Cleantech Funds III, che ha già investito in oltre 50 società e rappresenta altre grandi società come esperto di venture capital.

### 3.1.1 Storia<sup>37</sup>

#### ➤ 1920-1932

I primi successi arrivano intorno al 1920, quando venivano ancora utilizzati i pesanti pistoni in ghisa grigia nei motori a combustione interna. I fratelli Mahle guardavano al futuro producendo pistoni in lega leggera nella loro piccola azienda di nuova costituzione. Per difendere il motore da sporcizia e

---

<sup>37</sup> [https://www.mahle.com/en/about-mahle/mahle\\_chronicle/](https://www.mahle.com/en/about-mahle/mahle_chronicle/)

polvere sviluppano anche filtri aria e olio. La tecnologia viene migliorata tanto che pistoni in lega leggera iniziano a conquistare il mercato.

➤ 1933-1945

Il capitolo più oscuro della storia tedesca, il nazismo e la seconda guerra mondiale, lasciano anche un segno profondo sullo sviluppo della EC (che divenne MAHLE KG dal 1938): con aeromobili, automobili e veicoli commerciali costruiti principalmente per scopi militari, MAHLE diventa uno dei principali fornitori dell'industria bellica a causa della sua vasta gamma di prodotti.

➤ 1946-1970

Il 60% della proprietà societaria e dei beni di MAHLE KG sono stati persi durante il conflitto mondiale. Per i primi anni dopo la guerra, l'azienda deve sopravvivere con una produzione ridotta. Grazie alla nuova collaborazione con il Giappone e l'aiuto statale riesce a resistere fino al boom economico degli anni 70'.

➤ 1971-1990

Gli anni settanta e ottanta sono un periodo di crescita. L'azienda riesce nella riattivazione dell'unità filtro, in crisi a seguito della guerra. Negli anni novanta, MAHLE affronta la globalizzazione e la concentrazione nel settore automobilistico, trasformandosi da produttore di componenti a partner nello sviluppo e fornitore di sistemi di areazione e moduli per la gestione termica.

➤ 1991-1999

All'inizio degli anni novanta l'industria automobilistica subisce un'altra mutazione: la concorrenza internazionale si inasprisce, con la pressione dei prezzi in aumento. Diventano più importanti e complessi i requisiti qualitativi da rispettare e aumenta l'offerta del mercato da soddisfare. Le attività di

progettazione e sviluppo tradizionalmente affidate all'industria automobilistica vengono trasferite sempre più ai fornitori.

➤ 2000-2009

MAHLE è in costante crescita grazie alle continue acquisizioni di aziende e know-how fino a diventare un partner di sviluppo e fornitore leader nel settore automobilistico e dei motori. Nonostante la crisi economica globale che ha destabilizzato i mercati nel 2008, il gruppo conta circa 25.000 persone con oltre la metà delle vendite generate fuori dall' Europa.

➤ 2010-2017

Con l'acquisizione di Behr in 2013 per migliorare ulteriormente la sua posizione strategica, assolda circa 17.000 nuovi dipendenti in 38 sedi produttive e tre importanti centri di ricerca e sviluppo. Nel 2017, MAHLE entra nella top 500 Award impegnate in una crescita sostenibile.

## 3.2 Il processo produttivo

Lo stabilimento di La Loggia (TO) è legato indissolubilmente a quello di Saluzzo (CN), infatti il flusso di processo si snoda su entrambe le sedi:

Saluzzo:

1. Si crea la ricetta adeguata di lega di alluminio, mescolando “lingotti” di lega provenienti da diversi fornitori, all’interno dei forni fusori a 800° circa.
2. La lega fusa viene colata negli stampi a “grappolo” e viene aggiunta contestualmente un’anima in sale, che viene preriscaldata per evitare la rottura da shock termico nel momento in cui viene a contatto con la lega in raffreddamento. Le anime in sale sono degli anelli creati pressando del

sale particolare che segue poi un processo di cottura per raggiungere la consistenza desiderata. La funzione dell'anima in sale è di creare la galleria del pistone, un passaggio per l'olio durante il suo funzionamento nel cilindro.

3. Il grappolo con la coppia di pistoni viene "smaterozzato", viene cioè diviso tramite un robot e una sega circolare.
4. Il pistone non gode ancora delle proprietà finali e subisce quindi ulteriori processi termici che vanno dalle otto alle dodici ore in base al modello di prodotto.
5. Le anime in sale sono a questo punto rimosse meccanicamente: viene sfondata tramite una foratura ed eliminato ogni residuo con un getto di aria compressa e un lavaggio nella lavatrice industriale.
6. Il prodotto a questo punto è ancora un blocco di alluminio che vanta solo la forma del pistone; si passa quindi per la fase di pre-lavorazione che consiste nella sgrossatura del mantello, nella creazione dell'inserto e della testa del pistone.
7. Si è ottenuto così il pistone grezzo il quale, una volta superati i controlli a ultrasuoni e la timbratura, può essere spedito a La Loggia per procedere con le lavorazioni meccaniche di precisione.

#### La Loggia

8. I pistoni grezzi vengono smistati sulle diverse linee di lavorazione, in base alla classe di appartenenza (cilindrata, tipologia di veicolo, cliente) e passano attraverso i robot che rifiniscono testa, mantello, foro spinotto, gole, valvole ecc... In punta alla linea è posta una lavatrice che serve a rimuovere le impurità prima di passare al collaudo.
9. Il collaudo fa parte della linea e ne rappresenta l'ultima postazione. Le specifiche di prodotto sono verificate attraverso controlli automatici e visivi, eseguiti dall'operatrice di collaudo. I risultati del collaudo sono mostrati direttamente sulla linea tramite uno schermo che riporta

l'evoluzione in tempo reale di una carta di controllo, permettendo all'operatore di controllare se si prospetta il rischio di una deriva rispetto alle tolleranze e a quelle che sono le misure da lui impostate sulle macchine. In questa fase sono identificati gli eventuali pezzi di scarto per non conformità dimensionali o danneggiamenti.

10. La destinazione successiva è il reparto di grafitatura, dove il mantello del pistone è rivestito di grafite fungendo da lubrificante nello scorrimento all'interno del cilindro e conferendo una maggiore durezza e resistenza superficiale. Il pistone da "grafitare" arriva direttamente da una lavatrice, infatti ogni pezzo deve essere perfettamente pulito e privo di polvere perché la grafite attacchi in modo permanente sul pezzo, pena esfoliazione del materiale. Si esegue un controllo a campione per verificare la tenuta del rivestimento, tramite immersione in olio bollente o getti d'olio ad alta pressione.
11. Il pistone grafitato passa al montaggio, dove si aggiungono diversi elementi come anelli e inserti in ghisa a seconda della tipologia. Il prodotto viene sottoposto agli ultimi controlli automatici e finalmente imballato, pronto per essere spedito alle diverse case automobilistiche.

### 3.3 Il progetto pilota

Il progetto pilota dal respiro internazionale si sviluppa in un contesto più ampio, una condivisione di metodi e una standardizzazione globale che prende il nome di Mahle Production System (MPS).



Figura 9 “il tempio dell’MPS”, rappresenta i pilastri portanti che garantiscono la tenuta della struttura MPS.

L’MPS è un approccio alla gestione totale degli stabilimenti, ispirato dal Toyota Production System e fondato su tre pilastri portanti:

- TPM: consiste nella gestione della manutenzione professionale in collaborazione con l’automanutenzione svolta quotidianamente dagli operatori di linea per raggiungere l’obiettivo *zero breakdowns*, cioè zero fermate non pianificate
- TQM: gestione della qualità totale, lavorare in team per avviare un processo di miglioramento continuo, supportato da formazione costante del personale e la ricerca di nuove tecniche puntando al risultato *zero difetti*. Il miglioramento è possibile attraverso la collaborazione e il feedback dei clienti, inoltre il personale deve sentirsi partecipe e coinvolto attivamente nel cambiamento. I risultati e le proposte sono esposti servendosi di grafici e documenti “visual” per divulgare il monitoraggio e l’andamento dei KPI.

- TFM: gestione dei flussi *one piece flow*. Il flusso produttivo è progettato per rispettare la logica fifo, per evitare errori da parte degli operatori e intervenire prontamente in caso di difetti di lavorazione su tutto il lotto di riferimento. Inoltre, il layout dell'impianto deve essere studiato per minimizzare le distanze e gli spostamenti inutili in modo da essere ergonomiche e minimizzare i tempi di setup.

Idealmente la gestione delle risorse umane è raffigurata come il solaio del tempio MPS, infatti l'HR deve supportare tutti gli enti sottostanti motivando e formando tutti i dipendenti in merito ai concetti MPS. L'architrave, lo scopo ultimo di questa impostazione è quello di eliminare gli sprechi per aumentare il risultato operativo netto a fine anno.

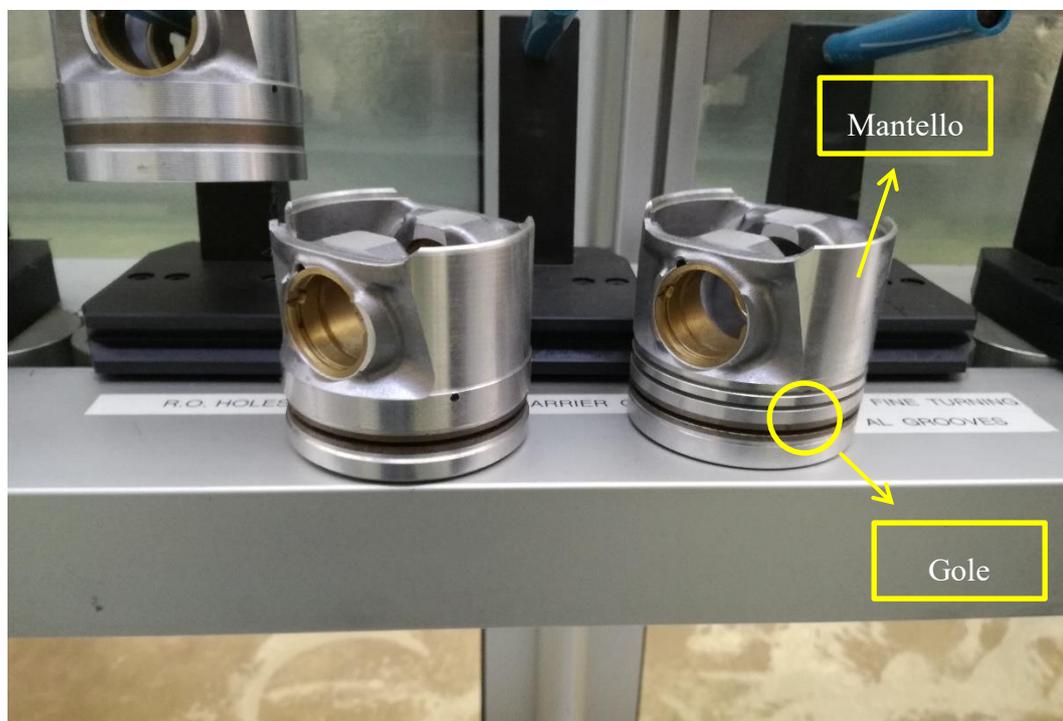
Il progetto pilota, che si colloca nella prima colonna di questa struttura organizzativa e prende appunto il nome di "Progetto TPM", affonda le proprie radici nell'esigenza di unificare i controlli e gli interventi manutentivi a livello europeo per ciascun tipo di macchina.

L'avvio del progetto risale al 2017, quando lo stabilimento Mahle di Rottweil si è rivolta alla società Conmoto, per una consulenza in ambito manutentivo, la quale ha fornito un modello che analizza le macchine a livello di componenti e restituisce per ognuno una strategia raccomandata. Da allora si sono svolti due meeting per stabilire i plant coinvolti nella sperimentazione del modello e fare un riepilogo sulla diagnostica e le procedure esistenti. Durante il secondo incontro tenutosi a settembre 2018 si è stabilita la macchina da analizzare in ciascuna delle sedi coinvolte. La macchina prescelta è una diamantatura, la FDK131, si è quindi fissato il terzo meeting per il 30 gennaio 2019 con l'obiettivo di unire i risultati del modello di ciascun plant.

### 3.3.1 La Diamantatrice

La macchina designata, si colloca nel processo di lavorazione meccanica precedentemente descritto, in particolare nella fase tra il pistone grezzo e quello grafitato. L'equipment in questione, meglio conosciuto come FDK 131 è una macchina a marchio MAHLE, costruita internamente dalla divisione Machine Building. Purtroppo, la macchina non gode di un albero di prodotto dettagliato con le specifiche e i codici dei componenti e nemmeno di indicazioni esaustive sulla durabilità, rendendo la sfida per la manutenzione ancora più ardua.

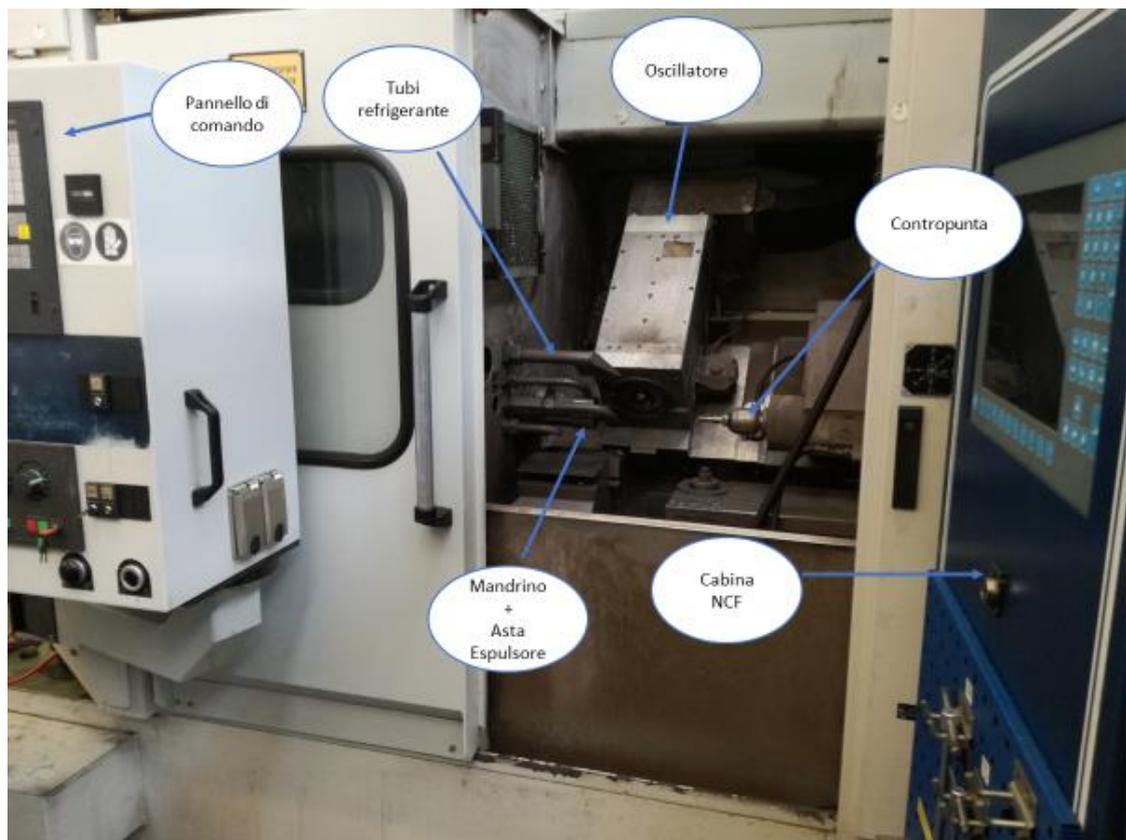
Le funzioni della FDK sono la lavorazione gole e la finitura del mantello per ridurre l'attrito da scorrimento all'interno del cilindro.



*Figura 10: Prima vs Dopo lavorazione della FDK; comparsa delle gole e rifinitura del mantello.*

È una delle macchine più diffuse negli impianti europei, essendo presente su quasi tutte le linee di lavorazione doppia o tripla in parallelo. Soddisfare il fabbisogno

della linea a pieno regime significa utilizzare due diamantatrici contemporaneamente al 90% della capacità massima. Nelle condizioni normali, di corretto funzionamento, l'FDK non rappresenta mai il collo di bottiglia. Dove presente, la terza FDK diventa la macchina di back-up, da attrezzare in caso di problemi.



*Figura 11: immagine della macchina aperta con indicati i componenti principali.*

La macchina è costituita da centinaia di pezzi e ricambi minori, questo schema ha lo scopo di visualizzare e comprendere i componenti principali:

- **Pannello di comando:** utilizzato dagli operatori di linea per impostare le nuove misure dopo ogni setup, permette movimenti manuali per effettuare le verifiche in situazioni di funzionamento sospetto.
- **Cabina NCF:** utilizzato per impostare il programma adeguato in base al modello da lavorare. In sostanza è un involucro che contiene all'interno tre componenti elettrici fondamentali:

**FDR:** calcola e gestisce i movimenti della testa dell'oscillatore.

**Servoamplificatore:** trasforma il segnale di controllo dell'FDR, aumentando o diminuendo l'impulso elettrico per comandare il movimento.

**PC:** Funge da interfaccia tra l'FDR e il Servoamplificatore.

Una delle azioni più importanti per rendere efficaci il processo di lavorazione è il test di calibrazione, utilizzato ogni qualvolta viene sostituito un oscillatore o un FDR o in alcuni casi dove emergono problemi di qualità. Serve per sincronizzare l'impulso elettrico con la spinta meccanica, cioè il movimento della testa dell'oscillatore con una precisione millesimale.

- **Pinza Robot:** il pezzo in arrivo dalla macchina precedente, viaggiando su una catena trasportatrice, viene prelevato dalla pinza del robot che ha il compito di caricare il pezzo dentro la macchina e portarlo saldamente in posizione, tra l'asta espulsore e la contropunta.
- **Asta Espulsore:** responsabile del movimento sull'asse X (orizzontale). Grazie a una cinghia e un cilindro è in grado muoversi fino a uscire dal mandrino per avvicinare il pezzo alla contropunta.
- **Oscillatore 2 Linear:** è il pezzo più complesso e delicato. Le direttive del gruppo vietano l'apertura dell'oscillatore, che rimane per lo più una

“scatola nera” per i manutentori. Questo componente riceve i segnali elettrici dall’NCF e muove la testa di conseguenza. La ragione della sua presenza risiede nella forma ovalizzata del pistone: infatti la sua funzione è quella di scorrere perpendicolarmente all’asse X intorno a un punto zero, in base alla rotazione del mandrino e quindi alla posizione del pezzo per creare la forma ovale del mantello.

- **Contropunta:** fa parte dell’attrezzatura intercambiabile durante il setup; è l’utensile che lavora direttamente il materiale.
- **Tubi del refrigerante:** il sistema di refrigerazione ha la funzione di controllare e mantenere costante la temperatura dei pistoni che tende naturalmente a salire durante la lavorazione. Essendo principalmente composto di alluminio, il pistone tende a soffrire gli sbalzi di temperatura perché soggetto al fenomeno della dilatazione termica. I pezzi devono trovarsi nelle condizioni di temperatura previste dal programma impostato nella cabina NCF, altrimenti si produrranno pezzi non conformi per problemi dimensionali.

### 3.3.2 L’obiettivo

L’assenza di una gestione centralizzata della manutenzione, che rimane ad oggi l’unico ente isolato che non si interfaccia con le altre sedi europee, ha portato una grande diversificazione in termini di strategie e frequenze di controllo nonostante le macchine e il tipo di produzione siano i medesimi. La Mahle a questo punto ha lanciato il progetto, con lo scopo rinnovare la vecchia gestione della manutenzione e creare un’unica strategia comune a livello europeo. Il fine ultimo di questa standardizzazione è quello di diminuire le perdite di produzione dovute al breakdown (perdite sull’OEU) e contestualmente i costi globali della manutenzione e del magazzino. Di riflesso, in caso l’obiettivo venga raggiunto, miglioreranno anche i KPI di manutenzione (MTBF e MTTR).

### 3.4 Il modello: “The Cube”

Il modello su cui si fonda il progetto è stato fornito dalla società di consulenza tedesca Conmoto<sup>38</sup>, un tool che fa parte di un pacchetto che la società fornisce alle aziende che vogliono implementare nuove strategie di manutenzione. Per raggiungere l’obiettivo si avvale di un database e di una semplice veste grafica a forma di cubo, per essere compreso in maniera più agevole.

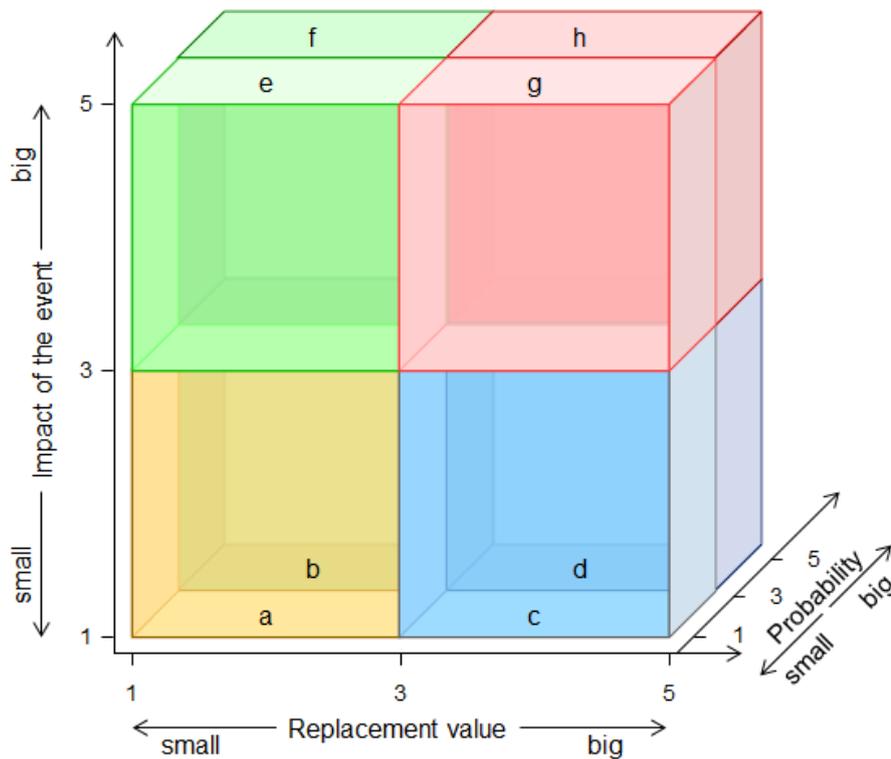


Figura 12: La veste grafica ufficiale del modello, a forma di cubo

<sup>38</sup> <https://www.conmoto.de/en/maintenance/>

### 3.4.1 Il funzionamento

Il cubo si sviluppa logicamente su tre dimensioni, i parametri grazie ai quali ogni componente viene plottato nello spazio, generando la strategia raccomandata.

- Asse x: Replacement value, rappresenta il costo e lo sforzo di acquistare e rimpiazzare il componente

$$X = C_{\text{mat}}$$

Dove:

$C_{\text{mat}}$  = Material cost (di acquisto o di revisione in base al componente)

- Asse y: Impact of the event, misura la gravità del guasto di un componente, quanto impatta sul regolare svolgimento delle attività della macchina

$$Y = \overline{T_{\text{BKD}}} \times C_{\text{ss}}$$

Dove:

$\overline{T_{\text{BKD}}}$  = Tempo di fermo macchina medio

$C_{\text{ss}}$  = Costo stillstand (costo opportunità della linea di lavorazione)

- Asse z: probabilità, intesa come frequenza di accadimento media

$$Z = \frac{N_e}{N_y}$$

Dove:

$N_e$  = Numero di eventi

$N_y$  = Numero di anni analizzati

I valori così calcolati vengono riportati su ciascun asse in una scala da 1 a 5 che ne riflette l'entità, da *impatto trascurabile* fino a *impatto altissimo* secondo lo schema seguente:

| Asse X – costo del ricambio [€] |             |          |
|---------------------------------|-------------|----------|
| 1                               | minore di   | 125,00   |
| 2                               | minore di   | 250,00   |
| 3                               | minore di   | 500,00   |
| 4                               | minore di   | 1.000,00 |
| 5                               | maggiore di | 1.000,00 |

| Asse Y – tempo BKD[€] |             |          |
|-----------------------|-------------|----------|
| 1                     | minore di   | 375      |
| 2                     | minore di   | 750      |
| 3                     | minore di   | 1.500,00 |
| 4                     | minore di   | 3.000,00 |
| 5                     | maggiore di | 3.000,00 |

| Asse Z – n° di eventi per anno |             |     |
|--------------------------------|-------------|-----|
| 1                              | minore di   | 0,5 |
| 2                              | minore di   | 1   |
| 3                              | minore di   | 2   |
| 4                              | minore di   | 4   |
| 5                              | maggiore di | 4   |

I range di valori sono stati stimati su base *convenzionale*, frutto quindi di un brainstorming tra manutentori e gestionali, su base *esperienziale*.

### 3.4.2 Le strategie

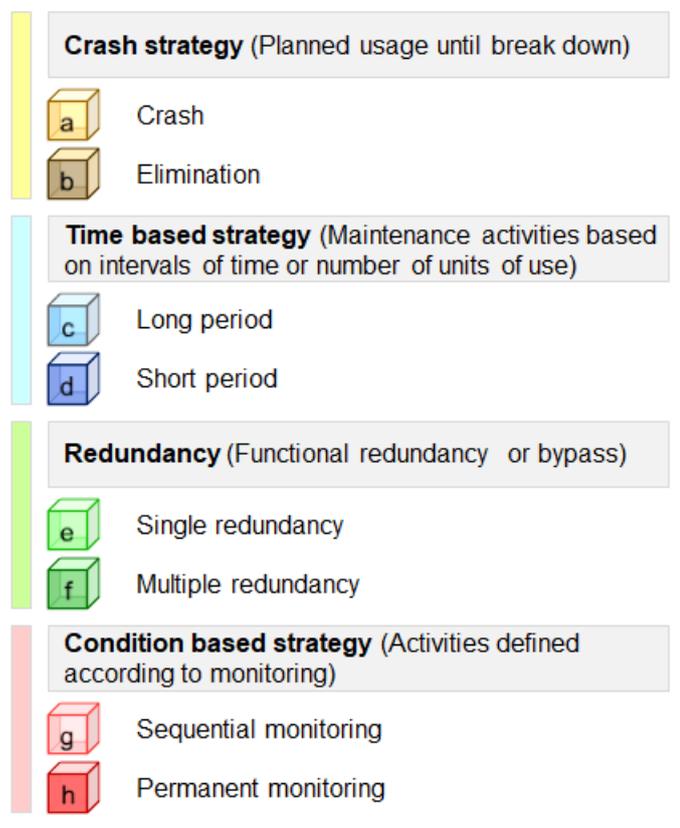


Figura 13: Estratto dal modello, legenda delle possibili strategie.

Come suggerisce l'immagine del cubo, ogni regione colorata corrisponde a specifiche strategie

Per componenti di basso valore e basso impatto, **Crash strategy**:

- Crash → se  $\mathbb{P}$  bassa : Lavora fino a rottura (manutenzione correttiva).
- Elimination → se  $\mathbb{P}$  alta : Elabora una soluzione per eliminare il problema alla radice e abbassare la frequenza di tale evento; es. un cavo sottoposto a sollecitazioni cicliche è soggetto a rottura, cambio materiale e ordino un cavo più resistente.

Per componenti di basso valore e alto impatto, **Redundancy**:

- Single redundancy → se  $\mathbb{P}$  bassa : Installo un secondo componente per garantire una continuità funzionale; es. un liquido deve essere costantemente aspirato da una vasca, installo una seconda pompa in parallelo per aumentare l'affidabilità del sistema. A volte per vincoli spaziali o progettuali non è una strategia di facile applicazione. Quando sdoppiare fisicamente l'elemento non è possibile bisogna sempre tenere un ricambio a magazzino.
- Multiple redundancy → se  $\mathbb{P}$  alta : Come la single redundancy ma moltiplicando l'elemento n-volte; es. installare una serie di led in un ambiente garantisce la visibilità a seguito di più fallimenti.

Per componenti di alto valore e basso impatto, **Time based strategy**:

- Long period → se  $\mathbb{P}$  bassa : Manutenzione Pianificata, programmo un'attività o di la sostituzione del componente con un intervallo fisso; es. sostituzione cinghie dopo un determinato numero di cicli o periodo di lavorazione
- Short period → se  $\mathbb{P}$  alta : Interventi pianificati a frequenza più elevata.

Per componenti di alto valore e alto impatto, **Condition based strategy**:

- Sequential monitoring → se  $\mathbb{P}$  bassa : Predittiva, controllo dello stato di un componente e della sua vita utile residua, tramite la misurazione e il monitoraggio di un parametro su misura per ogni componente.

- Permanent monitoring → *se P alta* : Il monitoraggio viene fatto on-line, direttamente sulla macchina, applicando un sensore che misuri il parametro scelto e grazie ad una software capace di gestire big data per segnalare l'incombenza di un problema in tempo reale. Questa soluzione corrisponde all'ideale di industria 4.0, un percorso che porterà le macchine verso l'auto diagnostica.

Una volta ottenuta la “strategia raccomandata”, il passo successivo è ideare una contromisura, cioè un'azione da intraprendere per inibire la causa di un guasto e ridurre la probabilità di accadimento o per contenerne gli effetti. A seguito di questa fase “creativa” dove si generano nuove soluzioni, si passa alla fase di implementazione delle stesse per monitorare i benefici nel tempo.

### 3.4.3 Strategie raccomandate vs parere degli esperti

Generate le contromisure, lo step finale è quello di verificare se i suggerimenti del cubo sono effettivamente applicabili al caso reale, decidendo insieme agli “esperti”, ovvero i manutentori, se apportare alcune correzioni. Ad esempio, per un componente potrebbe essere richiesta l'eliminazione di un guasto che non può essere arginato perché fisiologico del componente, quindi la strategia potrebbe essere convertita in un controllo periodico per accorgersi tempestivamente dell'anomalia.

### 3.5 SWOT Analysis

Agli albori del progetto è stata fatta una breve SWOT analysis, per fare una panoramica su quelle che erano le sensazioni del team, sul team e sul progetto, alcune opinioni, più o meno tacite, raccolte da chi si è occupato del progetto in prima persona. Ovviamente non si è avverato ogni elemento della SWAT, ma la sua funzione si è concretizzata mettendo in guardia il team su quelli che potevano essere gli aspetti più delicati del nuovo progetto.

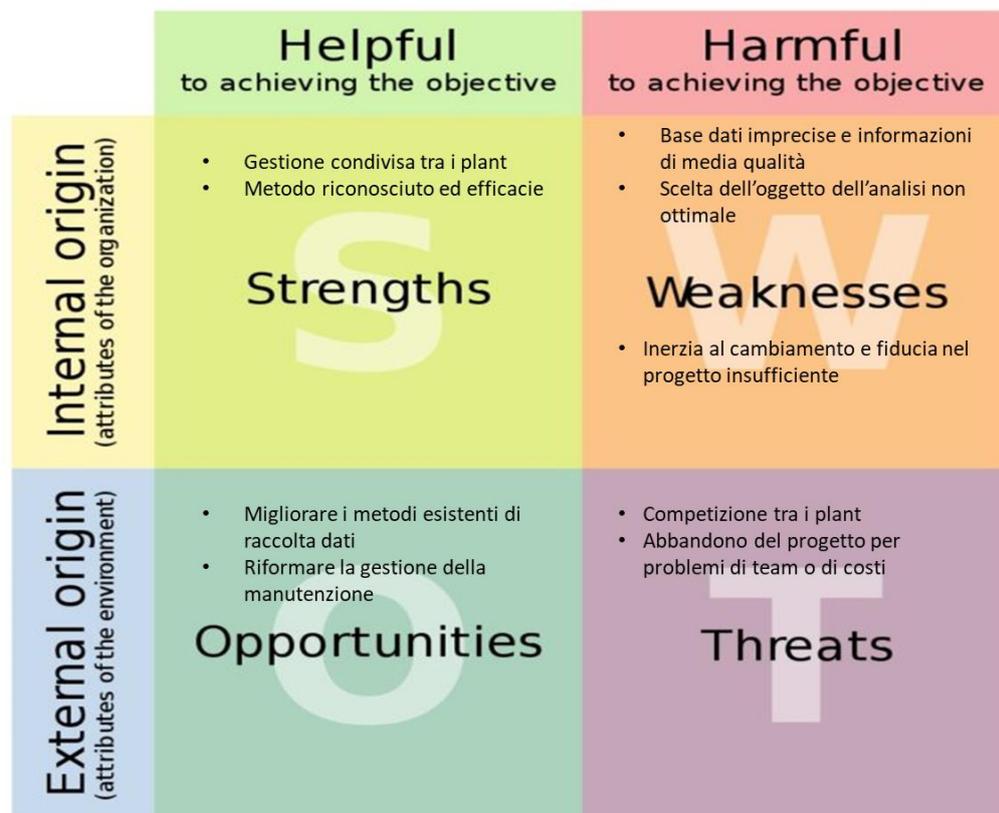


Figura 14: SWOT Analysis del Progetto TPM

## Cap 4: Sviluppo del Cubo

### 4.1 Il team

Il team di lavoro comprende un controller, un manutentore meccanico, un manutentore elettrico, il responsabile della manutenzione all'occorrenza, due Lean coordinator e un tesista a cui è stato affidato lo sviluppo del modello servendosi all'occorrenza del resto del team. L'avanzamento è stato costantemente monitorato, pianificando riunioni di avanzamento settimanali nell'ufficio dell'amministratore delegato con la supervisione dello stesso, creando così una squadra multidisciplinare in grado di fronteggiare tutte le fasi di sviluppo.

### 4.2 La BOM della macchina

Insieme al Cubo, ad ogni plant è stata fornita una lista di componenti soggetti a guasto, su cui strutturare l'analisi. Una volta compreso il funzionamento del modello però (cosa non facile data l'assenza di istruzioni e le difficoltà di traduzioni dal tedesco), è stato subito chiaro come la lista di componenti fosse inadeguata per supportare un'analisi "guidata dai componenti", che richiede quindi un livello di dettaglio tale da riuscire a ricondurre le cause di fermo a un elemento preciso, identificabile da un codice SAP. Per tali ragioni è stata studiata una nuova lista dei componenti, creando una BOM vera e propria della macchina formata da 18 blocchi funzionale e 158 sottocomponenti. La BOM è stata creata unendo le conoscenze di manutentori elettrici e meccanici studiando il libro macchina e servendosi di sopralluoghi sulla linea di lavorazione durante i fermi macchina. (Per consultare la distinta base si veda [Attachment A](#))

Trovato il giusto grado di scomposizione, tale da evitare ambiguità nell'abbinamento rispetto ai guasti, si è assegnato ad ogni elemento una "chiave primaria", cioè un codice univoco per identificare il componente senza bisogno di

riportarne una descrizione completa (es se il mandrino è il blocco n° 4, il motore mandrino sarà 4.3, cioè il terzo sottocomponente di quel gruppo funzionale).

La nuova BOM è passata dal controllo del magazzino, con il compito di fornire informazioni di loro competenza, quali il codice Sap (univoco per tutti gli stabilimenti Mahle) e il costo di acquisto o revisione, in base alla filiera propria di ogni componente della FDK.

### 4.3 Database

La base dati su cui lavorare è stata decisa a monte del progetto: linea 16 con le sue 2 diamantature e linea 18 con tre macchine, su un periodo di due anni, 2017 e 2018. (Per approfondimenti si rimanda all'Attachment B)

Le informazioni necessarie per costruire il modello sono:

- Tipo di intervento (ZM40, ZM41 o ZM42)
  - ZM40: Richieste di manutenzioni per guasti che generano un fermo macchina, rappresenta la tipologia più urgente, l'unica che ferma la produzione in maniera non pianificata. Viene gestita su carta tramite un documento standard da compilare e consegnare fisicamente al reparto di manutenzione che, una volta riparata l'anomalia, registreranno l'intervento e la richiesta cartacea su Sap.
  - ZM41: Interventi di manutenzione preventiva o riparazioni che possono essere svolte a macchina funzionante
  - ZM42: Manutenzione pianificata vera e propria, programmata con frequenze costanti. Introdotta a metà 2018, non ancora a pieno regime.
- Componente oggetto del guasto, secondo la codifica creata nella BOM.

- Ore di Manutenzione, intese come ore uomo totali per intervento, quindi somma delle ore di tutti i manutentori coinvolti.
- Tempo di fermo macchina, tempo trascorso dalla manifestazione del problema al riavvio della macchina.

In progetti di questo tipo guidati dai dati, la qualità dei risultati dipende essenzialmente dalla qualità dei dati in ingresso. Tenendo presente questa correlazione è stato scelto di utilizzare due strumenti per creare il database, con due diversi punti di vista, ma capaci di completarsi a vicenda: Il Sap specifico del reparto di manutenzione e l'Hour By Hour

#### 4.3.1 SAP

Su Sap vengono scaricati gli interventi di manutenzione direttamente dagli esecutori materiali, in cui dovrebbero (il condizionale è d'obbligo) essere riportati ore uomo, durata dell'intervento e eventuali pezzi sostituiti. Purtroppo, spesso le ultime due informazioni sono assenti, ragion per cui si è ricorso a un secondo strumento per arricchire il database.

#### 4.3.2 HBH

L' Hour By Hour è uno strumento che serve a monitorare la produzione oraria rispetto al target, impostato in base al tempo ciclo di ogni postazione. Gli operatori devono registrare il numero di pezzi prodotti e in caso di sottoproduzione, indicare la causa della perdita (es. mancanza di operatori, pause, BKD, Set-up, mancanza di pezzi a monte, ecc.).

Le funzioni di tale strumento sono molteplici, infatti oltre a monitorare la produzione, serve a evidenziare le prime tre cause di perdita di produzione e portarle all'attenzione del management. Questo tipo di controllo si traduce in uno stimolo a fare meglio, che porta automaticamente ad un aumento di produzione nelle aree in cui introdotto.

Il contributo di questo tool è di dare maggiori informazioni rispetto al fermo macchina, così da sopperire alle mancanze del Sap.

Nonostante i due strumenti, in molti casi si è dovuto utilizzare la componente umana e studiare l'intervento per ricostruirne le dinamiche.

### 4.3.3 Input del Cubo

I dati dei guasti così trovati devono, a questo punto, essere elaborati prima di essere immessi nel modello. In sostanza, il file excel con il cubo deve avere un numero di righe pari al numero di componenti oggetto di guasto (ogni elemento compare una e una sola volta). Per ottenere tale configurazione è stato necessario trovare i valori medi per ogni componente, solo a questo punto i dati sono stati immessi nel modello. I risultati di questa elaborazione sono visibili nell'[Attachment C](#).

## 4.4 Modifiche al modello

Il modello così come è stato fornito presentava alcuni difetti che ne compromettevano i risultati, sono state apportate quindi alcune correzioni:

- Eliminazione della colonna “cost center”:

Il centro di costo è un codice identificativo di una particolare linea di lavorazione (nel nostro caso le linee considerate sono due), il problema è che i dati di tutte le FDK vanno aggregati se si vuole estrapolare la strategia idonea per ogni componente (un componente = una strategia). Se fosse consentito ad ogni macchina dello stesso tipo di avere strategie diverse si avrebbe un incremento esponenziale della difficoltà gestionale della manutenzione, commettendo inoltre l'errore concettuale di gestire diversamente

due macchine identiche. I risultati devono essere universali per ogni unità presente su ogni linea.

– Modificato Costo opportunità

Così come il centro di costo distingueva le macchine per linea, stesso discorso vale per il costo opportunità (stillstand) della linea che ha subito delle modifiche. In primis, per la macchina scelta non ha senso parlare di costo di fermo linea, questo si verifica solo in rarissimi casi, in quanto l'FDK è sempre presente in più unità in parallelo (due sulla linea sedici e tre sulla diciotto). Per questo il costo opportunità diventa il costo di fermo macchina, ricavato smorzando il costo della linea al 50/60%, in quanto è comunque possibile produrre con una macchina sola a velocità inferiore. A questo punto i nuovi costi opportunità delle due linee sono stati aggregati in un unico costo medio secondo le stesse logiche di universalità precedentemente descritte.

– Aggiunta di una variabile booleana sulla sostituzione

Il costo totale annuo di un componente è ovviamente l'insieme di più fattori:

$$C_{tot_y} = (C_{MH} \times \bar{H}_M + C_{Opp} \times \bar{H}_{FM} + C_{Mat}) \times \bar{N}_Y$$

Dove: tutti i dati si riferiscono a un singolo componente

$C_{tot_y}$  = Costo tot annuo

$C_{MH}$  = Costo Man Hour (ora uomo)

$\bar{H}_M$  = Ore uomo di manutenzione medie

$C_{Opp}$  = Costo opportunità della linea

$\bar{H}_{FM}$  = Tempo di fermo macchina medio

$C_{Mat}$  = Costo di acquisto o revisione, in base al componente

$\bar{N}_Y$  = Numero di eventi medi per anno

Il difetto di tale formula risiede nel considerare sempre il costo materiale del pezzo, come se ogni intervento ne comportasse una sostituzione. Situazione lontana dalla realtà, infatti molti interventi si concludono solo con un cosiddetto readjustment, cioè una lubrificazione, una regolazione, una pulizia e quindi il componente rimane installato sulla macchina. Per evitare di gonfiare il costo totale annuale di un componente è stata introdotta una booleana, da aggiungere ai dati sui guasti raccolti da Sap e HBH, per abbinare ad ogni intervento l'informazione "sostituito: Si/NO". Infine, prima di caricare i dati nel cubo si è semplicemente contato il numero di volte in cui la booleana segnava il valore "1" per ottenere il numero di ricambi totali del componente.

Se  $\bar{N}_{Rep}$  = n° di replacements o sostituzioni medie per anno, la formula diventa:

$$C_{tot_y} = (C_{MH} \times \bar{H}_M + C_{Opp} \times \bar{H}_{FM}) \times \bar{N}_Y + \bar{N}_{Rep} \times C_{Mat}$$

## Cap 5: Analisi dei risultati

### 5.1 Analisi sulle linee

I dati raccolti dagli ultimi due anni permettono di fare alcune considerazioni sulle linee di lavorazione coinvolte.

| Linea | Macchina | N° guasti | % Guasti |
|-------|----------|-----------|----------|
| L16   | 2070     | 37        | 24%      |
|       | 2071     | 45        | 29%      |
| L18   | 2149     | 23        | 15%      |
|       | 2150     | 17        | 11%      |
|       | 2151     | 35        | 22%      |
| TOT   |          | 157       |          |

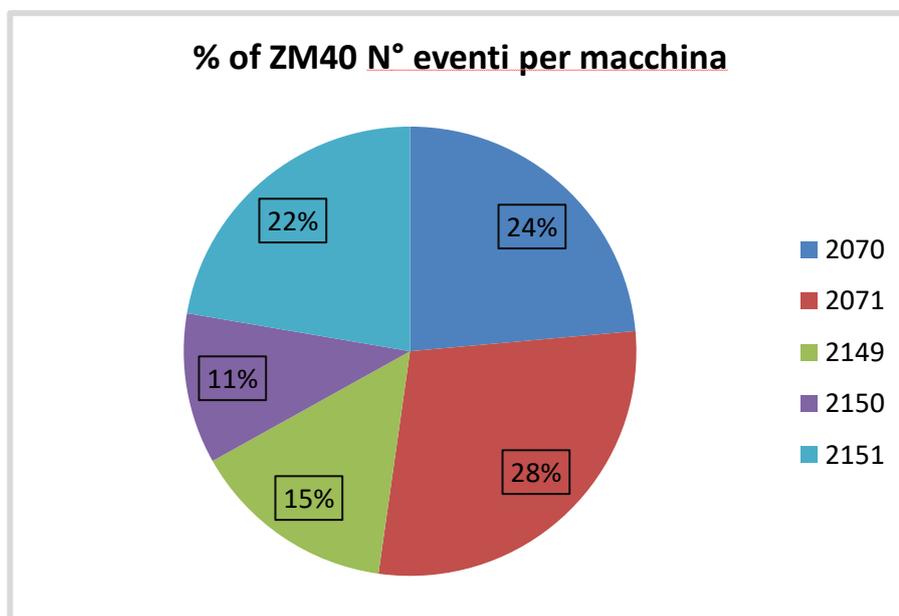


Figura 15: grafico a torta che mostra la distribuzione dei guasti sulle singole macchine.

Il numero di eventi di guasto sulle due linee è quasi identico (52% sulla L16 contro 48% sulla L18), come ci si aspetterebbe da due linee simili adibite alle stesse produzioni. Osservando la linea 18, la minore percentuale di guasto è da ricercare nella presenza di una macchina aggiuntiva, che garantisce un grado di usura inferiore rispetto a quelle della L16, attive full time. Nel periodo analizzato

la macchina 2151 è che ha sostenuto più ore di attività, mentre la 2149 e la 2150 si sono alternate tra loro.

| Etichette di riga  | Somma di H di manutenzione |
|--------------------|----------------------------|
| ZM40               | 368,0                      |
| ZM41               | 202,5                      |
| ZM42               | 178,0                      |
| <b>Total hours</b> | <b>748,5</b>               |



*Figura 16: grafico a torta sulla distribuzione delle ore uomo per ogni tipo di intervento.*

La gestione odierna delle macchine e della manutenzione impegna i manutentori per la maggiorparte del tempo nella risoluzione dei breakdown, condizione costosa e inefficiente. Questo semplice grafico è un'evidenza del potenziale e della necessità di intraprendere un progetto di miglioramento in ambito manutentivo.

## 5.2 Le strategie suggerite

Elaborati i dati e apportate tutte le modifiche al modello, il cubo è pronto per essere alimentato (Attachment D) e restituire le strategie raccomandate.

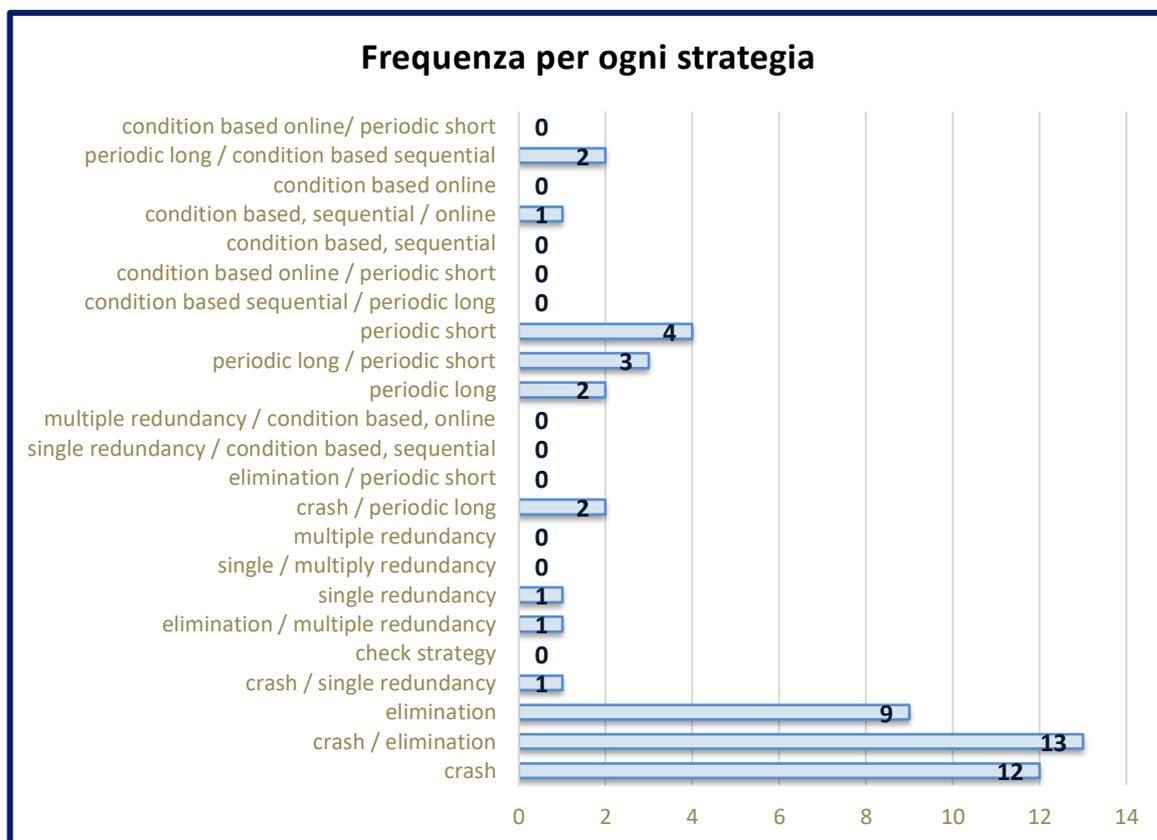


Figura 17: grafico che riassume la frequenza di strategie suggerite.

Gli elementi oggetto di guasto, nell'orizzonte analizzato, sono stati 52. I risultati non si discostano da quelle che erano le previsioni del team:

Come mostrato nel grafico, le strategie suggerite con maggior frequenza risultano essere crash e crash/elimination, riferite ai componenti più economici come luci, pulsanti, cavi e manometri.

Un'altra fetta importante è rappresentata dalla strategia elimination e elimination/multiple redundancy, riguardanti alcuni elementi più delicati come cinghie, filtri, tubazioni del sistema refrigerante e l'asta espulsore. Per questi

elementi, il modello richiede di elaborare una contromisura con l'intento di abbassarne l'impatto e la frequenza dei BKD.

Le strategie time based, ovvero periodic long/short, si riferiscono a condizionatore NCF, oscillatore, pinza del robot, contropunta e pompe del sistema idraulico.

Il controllo più delicato condition based è stato suggerito per il riduttore del robot, il mandrino e il motore mandrino.

Nel 51% dei casi, il cubo ha suggerito la stessa strategia attualmente in uso, il restante 49%, quindi 20 elementi, rappresentano le opportunità di miglioramento su cui concentrare l'analisi.

Proseguendo nello studio dei risultati si è scelto di concentrare gli sforzi solo sui componenti capaci di generare un beneficio reale in termini di savings. A tale scopo si è scelto di utilizzare un bubble diagram disponendo i componenti in ordine decrescente in termine di costi totali annui e selezionando i primi dieci.

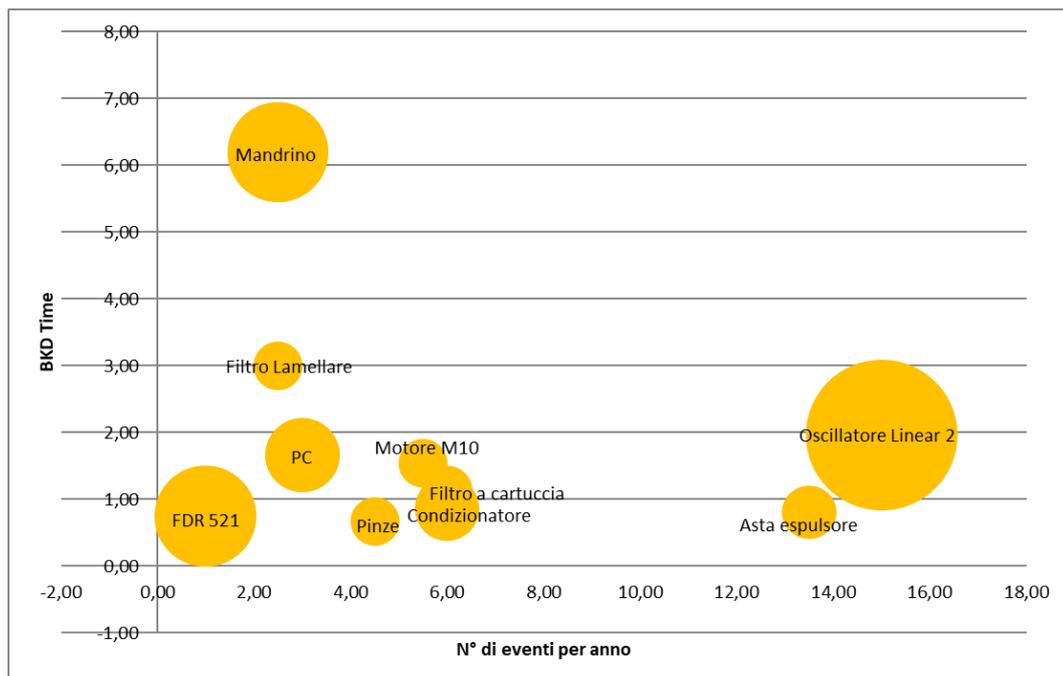


Figura 18 Asse X: n° di eventi per anno; Asse Y: Tempo di BKD medio; Dimensione della bolla: Ctot per anno

Grazie a questo grafico è possibile comprendere su quali componenti intervenire, in virtù di diverse criticità.

### 5.3 Contromisure

Le contromisure sono il frutto di un processo creativo, dove persone esterne alla produzione hanno apportato il loro contributo di “fresh eye”, ovvero il punto di vista di chi guarda un processo dall'esterno senza farsi condizionare dalle abitudini. Ovviamente l'ultima parola sulla fattibilità dell'idea spetta sempre a chi conosce meglio la situazione, i manutentori in questo caso.

Le principali contromisure elaborate sono:

- Oscillatore

Il problema di questo particolare componente è il notevole fermo macchina dovuto alla sua assenza dal magazzino. Su questo componente vige un vero e proprio divieto, “giustificato” dal suo elevato costo di acquisto. Nel momento in cui si verifica il guasto, parte un corriere da Stoccarda che consegna un pezzo revisionato in cambio di quello guasto. La conformazione dell'oscillatore a scatola chiusa non consente di fare manutenzione preventiva e quindi effettuare l'ordine in anticipo. Per risolvere il dilemma stock o non stock, si è ricorso porzione del modello che ragiona sui costi/benefici delle scorte.

| Codice MAHLE | descrizione                    | Tempo per smontare il pezzo | Tempo di atteso del ricambio | Costo di attesa per evento, se assente a magazzino | Costo annuale di mg | Raccomandazione sul mg |
|--------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|---------------------|------------------------|
| 81096556R    | OSCILLATORE LINEARE NCF2linear | 2                           | 24                           | 5.697,07 €   | 912,40 €            | Storage in plant       |

Figura 19: Scelta “not on stock or storage in plant” per il componente oscillatore.

Questo spaccato del file Excel mostra come a fronte di un tempo di 2 ore per smontare il pezzo, quello di attesa totale è di 24 ore in media. Quindi l'attesa del pezzo genera una perdita di produzione di 5,7 k€ contro i soli 912€ per i costi di magazzino, stimati su un intero anno. Il risultato pende decisamente per la soluzione "storage in plant"

– Mandrino

La strategia consigliata in questo caso è controllo permanente, quindi grazie all'ausilio di un sensore. L'idea è quella di montare due sensori ai lati opposti dei cuscinetti per monitorare le vibrazioni e riconoscere le condizioni di lavoro anomale. Un mandrino danneggiato causa pezzi difettosi nonché lunghi BKD, che possono essere eliminati se si conosce in anticipo lo stato del componente e si programma la sua sostituzione durante un set-up.

– FDR

È il componente più costoso di tutti con i suoi 12k€, per questo è importante evitare di sostituirlo prima che la sua vita utile giunga al termine. La complessità che lo caratterizza non permette di capire quando questo componente elettrico andrà in fallimento. Conviene quindi mantenere una strategia a crash.

– PC

Elemento costoso, caratterizzato da un lungo delivery time di settimane, tempo necessario a revisionare il pezzo. Per minimizzare gli eventi di guasto si è pensato all'applicazione di un gruppo di continuità, un UPS per proteggere il PC da cali di tensione e arresti forzati.

– NCF Conditioner

Per proteggere il condizionatore da surriscaldamenti è necessaria l'installazione di un termostato che ne comandi l'arresto al raggiungimento di determinate condizioni, inviando contemporaneamente un segnale al pannello di comandi e ai manutentori. Il controllo della

temperatura giova allo stato di salute di tutti i componenti presenti nella cabina NCF, incluso l’FDR.

– Filtro lamellare e filtro a cartuccia

Per evitare che il loro guasto causi un fermo macchina, verrà installato un filtro a doppio stadio per il lamellare e un secondo filtro in parallelo per quello a cartuccia. Il passaggio del truciolo blocca il filtro a cartuccia che intasandosi necessita di una sostituzione a macchina ferma. La strategia consigliata multiple redundancy sarà soddisfatta sdoppiando l’unità pompa e filtro, quindi in caso di fallimento della prima unità, sarà possibile mettere in funzione la seconda tramite un selettore manuale e sostituire il filtro guasto con tutta calma, scongiurando il breakdown.

– Pinza del Robot

Problemi ricorrenti alla pinza, hanno reso necessario creare una pianificazione di interventi per mantenere il sistema in buono stato con una frequenza pari a due volte per anno.

– Asta espulsore

Il 50% dei problemi nel periodo di tempo analizzato sono riconducibili a sporcizia e mancanza di lubrificazione. La proposta è quindi di creare una pianificata per eseguire queste operazioni in anticipo senza creare problemi al meccanismo di posizionamento pezzi. Manutenzione pianificata con cadenza trimestrale.

– Tubi sistema refrigerante

Il problema ricorrente è l’occlusione dei tubi per infiltrazione di truciolo. Prima di passare nei tubi, il refrigerante viene filtrato dal filtro a cartuccia, ciò rende strettamente correlato il destino dei due componenti. Risolvere il problema del filtro a cartuccia diventa di conseguenza una soluzione anche per questo componente.

## 5.4 Analisi dei potenziali

Uno dei vincoli del lavoro svolto è stato il soggetto da analizzare. La decisione è ricaduta sulla FDK131, una macchina di complessità medio-alta, con un peso importante sulla qualità del prodotto finale. Esistono però tanti soggetti che rispondo a questi requisiti. La seguente analisi è stata svolta con l'obiettivo di comprendere il potenziale di questa scelta, valutando il beneficio ottenibile.

### Linea 16

| BKD                       |                      |                |
|---------------------------|----------------------|----------------|
| Etichette di riga         | Somma di PEZZI PERSI | %PEZZI PERSI   |
| <b>FBK 53</b>             | <b>21378</b>         | <b>23,30%</b>  |
| 0                         | 392                  | 0,43%          |
| 2072                      | 20986                | 22,87%         |
| <b>BBK 82</b>             | <b>17828</b>         | <b>19,43%</b>  |
| 2067                      | 17828                | 19,43%         |
| <b>DNK 161</b>            | <b>16918</b>         | <b>18,44%</b>  |
| 2073                      | 6071                 | 6,62%          |
| 2074                      | 10847                | 11,82%         |
| <b>DNK 121</b>            | <b>9092</b>          | <b>9,91%</b>   |
| 2065                      | 9092                 | 9,91%          |
| <b>FDK 131</b>            | <b>7046</b>          | <b>7,68%</b>   |
| 2070                      | 3866                 | 4,21%          |
| 2071                      | 3181                 | 3,47%          |
| <b>Totale complessivo</b> | <b>91746</b>         | <b>100,00%</b> |

Figura 20: Tabella che riporta la ripartizione dei pezzi persi sulle varie macchine della linea 16; Per brevità è stata riportata la classifica fino alla macchina interessata.

La macchina analizzata è la quinta in termini di pezzi persi, risolvere quindi tutti i problemi sulla stessa, porterebbe la quota di BKD dell'intera linea da 6,4% a 5,9%.

## Linea 18

| BKD                       |                      |                |
|---------------------------|----------------------|----------------|
| Etichette di riga         | Somma di PEZZI PERSI | %PEZZI PERSI   |
| <b>FBK 54</b>             | <b>13808</b>         | <b>17,73%</b>  |
| 2152                      | 13808                | 17,73%         |
| <b>TMK 27</b>             | <b>11276</b>         | <b>14,47%</b>  |
| 2142                      | 11231                | 14,42%         |
| 2156                      | 45                   | 0,06%          |
| <b>BBK 82</b>             | <b>7936</b>          | <b>10,19%</b>  |
| 2144                      | 7936                 | 10,19%         |
| <b>FDK 131</b>            | <b>5731</b>          | <b>7,36%</b>   |
| 2149                      | 1238                 | 1,59%          |
| 2151                      | 2728                 | 3,50%          |
| 2150                      | 1765                 | 2,27%          |
| <b>Totale complessivo</b> | <b>77899</b>         | <b>100,00%</b> |

*Figura 21: Tabella che riporta la ripartizione dei pezzi persi sulle varie macchine della linea 18; Per brevità è stata riportata la classifica fino alla macchina interessata.*

Su questa linea, la FDK conta tre unità e si colloca al quarto posto in termini di pezzi persi. Un suo completo controllo in grado di annullare tutti i breakdown porterebbe un miglioramento del BKD di linea da 9,8% a 9%.

I dati in questione, forniti dall'azienda, probabilmente sottostimano l'incidenza di ciascuna macchina perché si riferiscono ai soli breakdown: un problema su un componente spesso non porta a un arresto totale delle operazioni, ma conduce ad una condizione di perdita di velocità, le cosiddette Loss of Speed. Anche considerando questo ulteriore effetto negativo dei malfunzionamenti, la classifica resterebbe invariata, con al primo posto la FBK.

Risulta evidente come, per raggiungere l'obiettivo ultimo del lavoro, cioè la diminuzione dei breakdown a favore dell'OEU, sia fondamentale concentrare gli sforzi su macchine più critiche e presenti singolarmente come la FBK. Si è così stabilita la prossima macchina da analizzare per ottenere il massimo potenziale dal progetto TPM.

## 5.5 Meeting

Il terzo meeting si è tenuto il 30 e 31 gennaio secondo pianificazione.

In questo incontro si è discusso di tutti gli argomenti trattati finora e degli step successivi. I lavori sono stati guidati dal team della sede ospitante, ovvero quella di La Loggia.

Gli altri team hanno purtroppo mostrato un livello di preparazione inferiore, ciò ha richiesto ulteriore formazione e materiale propedeutico offerto dal nostro team, con lo scopo di allineare i livelli di preparazione entro il prossimo meeting. Alla fine delle due giornate, si è deciso di concentrare l'attenzione sulla parte dei cost savings, estendendo quindi l'esempio dell'oscillatore agli altri componenti, e di lanciare la sperimentazione delle contromisure proposte. Una volta che tutti i plant arriveranno ad uno stadio avanzato dei lavori, verrà pianificato un ultimo plant per unire i risultati prima di spostare l'attenzione sulla prossima macchina e procedere in autonomia.

## 5.6 I limiti del lavoro

A fronte del lavoro svolto e della SWOT Analysis stilata in precedenza, alcune decisioni sono diventati vincoli che hanno condizionato i risultati del progetto:

- ❖ La scelta della macchina

La decisione è stata presa in un meeting precedente alla formazione del team. La scelta è stata dettata dalla complessità della macchina, dal ruolo importante che svolge nel processo di lavorazione e di riflesso sulla qualità del prodotto finito. Sebbene i criteri fossero sensati, il problema si è posto nella relazione tra macchina e modello applicato, o meglio: il cubo di

manutenzione nasce per trattare gli elementi che rappresentano una risorsa critica, dove un fermo macchina si traduce in una fermata per l'intera linea. Nel nostro caso questa relazione non è rispettata, in quanto la macchina è sempre presente in parallelo, doppia o tripla sulla linea. Nel nostro caso non esiste il fermo linea, se non in rarissime occasioni, bensì dei rallentamenti. Queste ragioni hanno portato alla modifica del modello, orientandolo sul fermo macchina. Si è quindi applicato un fattore correttivo per rendere la tariffa di fermo linea (nota all'azienda) in un costo inferiore che rispecchiasse la perdita per rallentamento.

❖ Machine building

L'FDK è stata sviluppata internamente dal reparto Mahle di machine building, il quale però, non disponendo del know how e della scalabilità di aziende specializzate, manca di un "manuale del costruttore" che dovrebbe riportare informazioni di massima sulla durabilità dei pezzi. Manca inoltre il supporto post-vendita offerto da altri fornitori, come ad esempio Siemens, che offre svariate soluzioni personalizzate con tempi di consegna e magazzino ricambi direttamente dal cliente.

❖ La base di dati

Per progetti di miglioramento che fondano il processo decisionale sulla base dello storico, la qualità dei risultati dipende dalla qualità dei dati in ingresso. Reperire una base dati che rispecchiasse il più possibile la realtà è stata una delle fasi più complicate, condizionata dalle pratiche gestionali attuali.

– La gestione su SAP

Il Sap di manutenzione non viene sfruttato adeguatamente in tutte le sue funzioni e non vengono compilati i campi con orario di inizio e fine intervento. L'assenza di queste informazioni non

consente di conoscere la reale durata dell'intervento, che può solo essere stimata con ampia incertezza dalle ore uomo totali.

È presente inoltre un secondo fattore di incertezza sulle ore uomo dichiarate per ogni intervento: infatti i manutentori hanno l'obbligo di scaricare le proprie ore di lavoro su uno dei tre tipi di interventi ZM e questo porta a gonfiare il totale delle ore uomo. Una possibile soluzione per migliorare la precisione dei dati sarebbe introdurre una nuova voce di scarico per "gestione del reparto di manutenzione" permettendo così di scaricare attività di gestione come reportistica, riorganizzazione del reparto, pulizia ecc.

– La leadership del responsabile del progetto

La figura che dovrebbe coordinare i lavori del progetto TPM a livello europeo manca di conoscenze in ambito manutentivo, ragion per cui dovrebbe essere affiancato da chi conosce realmente la macchina. Questa mancanza è emersa in modo particolare nel momento in cui ha reso standard (quindi formalizzato in ottica Lean) e diffuso una lista di componenti della FDK dalle sembianze di una bozza, che peccava di gravi mancanze, tra cui alcuni dei componenti più importanti. La lista è stata poi ampliata, ma nel frattempo i team delle sedi meno intraprendenti hanno basato il loro lavoro su una lista corrotta.

– Warehous management

È stata riscontrata inoltre l'assenza di una gestione del magazzino informatizzata che garantisca un efficace controllo delle scorte dichiarate. Semplificare la gestione incrementare la qualità dei dati

vorrebbe dire dotare di codici a barre i ricambi, in modo che possano essere direttamente scansionati e detratti dal quantitativo a sistema. Una gestione di questo tipo consente inoltre di scalare i pezzi dal magazzino nel momento in cui si carica un intervento di manutenzione su Sap, dichiarando la sostituzione di particolari codici.

## Cap 6: Conclusioni

La realizzazione del progetto concede un'occasione concreta per rinnovare la gestione della manutenzione

Durante la realizzazione del progetto sono emersi numerosi problemi, in tutte le fasi che hanno coinvolto tutti gli enti aziendali, tenendo a mente il valore dei problemi, che non sono tormenti, ma una miniera d'oro, come enunciava Juran. Queste inefficienze possono trasformarsi in opportunità di miglioramento se portate all'attenzione del management.

I benefici di questo lavoro vanno quindi oltre la sola prevenzione dei fermi macchina e la standardizzazione della manutenzione.

Punti aperti:

1. Implementazione e formazione del personale di manutenzione su SAP PM  
Per informatizzare la manutenzione e collegarla con il magazzino è necessario un upgrade del sistema utilizzato, che aggiunge le nuove funzioni precedentemente descritte. Le risorse umane dovrebbero quindi organizzare un'adeguata formazione per consentire ai manutentori l'uso di questi strumenti ampiamente diffusi.
2. Richieste di manutenzione online  
La presenza di un computer su ogni linea di lavorazione consentirebbe di gestire le richieste online. Le richieste verrebbero inviate direttamente dall'officina tracciando le tempistiche di intervento esatte, ottenendo così una solida base di dati
3. L'introduzione delle manutenzioni pianificate a metà 2018 ha portato un effetto positivo sulla quota di BKD

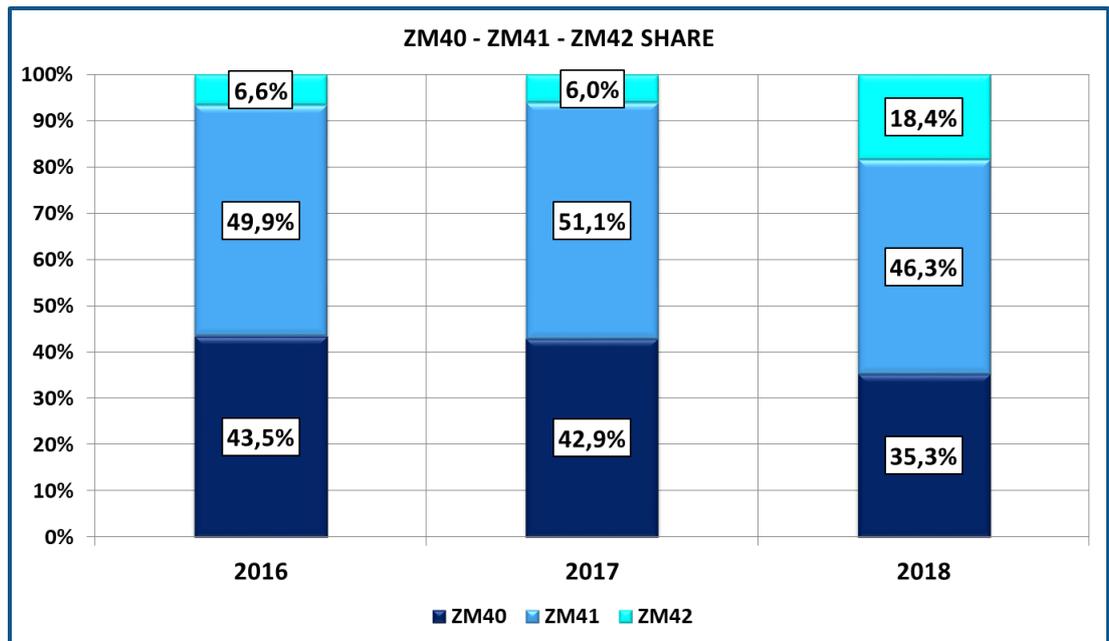


Figura 22: il grafico mostra i trend delle quote dei tre tipi di manutenzioni.

Nel 2018 a fronte di un aumento delle ZM42 si è avuta una diminuzione della quota di ZM40, un trend positivo che potrebbe continuare introducendo le nuove preventive suggerite dal cubo e aggiornando la frequenza di quelle esistenti.

#### 4. Manutenzione 4.0

Il mercato oggi fornisce svariate soluzioni per raccogliere e gestire dati, diagnosticare e prevenire malfunzionamenti, avvisare gli operatori e creare reportistica direttamente su dispositivi mobile. Il consiglio trasmesso all'azienda è di avviare una sperimentazione per testare i benefici dell'integrazione della Lean con l'industria 4.0.

## 6.1 Le prossime mosse

La casa madre ha tutta l'intenzione di proseguire sulla rotta tracciata dal progetto pilota. Alla sede di La Loggia non resta che assimilare e trasmettere le conoscenze acquisite durante il lavoro di tesi, al proprio personale.

Il team ha infine partecipato alla fiera A&T di Torino, tenutasi il 13 febbraio, con la missione ampliare la propria rete di partner industriali per valutare la giusta offerta di dispositivi e sensoristica per implementare al meglio le contromisure sulla FDK.

# Attachment A

| Macro component | Macro componente           | Sottocomponente                    | Sottocomponente (eng)  | Codice Sap   | Costo ricambio  | Descrizione componente                                 |   |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|--|--|---|--|---|
| Rif.            |                            |                                    |  |  |   |  |   |
| 1               | Control cabinet            | Cabina Elettrica                   | Interruttore Generale Q55<br>Trasformatore 220V T5<br>Alimentatore 24V G60<br>Climatizzatore E70 (ex14.2)<br>Modulo alimentatore Siemens G10<br>NCU Modul Siemens<br>Relé Freni (F, X1, V1, X, Z)<br>Ventilatore NCK   | General switch Q55<br>220V T5 transformer<br>24V G60 power supply<br>E70 Air Conditioner (ex14.2)<br>Siemens G10 power supply module<br>NCU Modul Siemens<br>Brake Relays (F, X1, V1, X, Z)<br>NCK fan   | 91494046  | 1.326,00 €   | Pfannenberg dts 7301 climatizzatore   |
| 2               | Operators panel            | Pannello Comandi                   | Luci di segnalazione (ex14.1)<br>Pulsanti e Selettori<br>Schermo NC Siemens OP010<br>PCU 20  | Signal lights (ex14.1)<br>Buttons and Selectors<br>NC screen Siemens OP 010<br>PCU 20  | 91494350  | 41,00 €  | ELAN ZSS21S12 I-HI SELETTORE A CHIAVE   |
| 3               | Car lights                 | Luce Bordo Macchina                | Luci Zona Lavoro (ex11.6)<br>Luci Zona Posteriore (ex11.6)<br>Lampade di segnalazione/allarme (ex11.1)   | Work Area Lights<br>Rear Zone Lights (ex11.6)<br>Signaling / alarm lamps (ex11.1)  | 81200151  | 223,41 €   | lampada waldmann MQAL 24N   |
| 4               | Fine turning equipment     | Componenti Tornitura Di Precisione | Encoder ALPHA<br>Cinghia Encoder Alpha (AT5/710 - n.1) 91361666 (ex1.4)<br>Cuscinetti gruppo<br>Oscillatore Linear 2 (ex7.6)<br>Cavi di connessione oscillatore<br>Cavi a fibra ottica degli Encoder<br>Frigorifer BKW (solo per moti lineari) (ex7.4)<br>Accumulatore pressione aria (ex7.1)<br>Soffiaggio canale laterale (ex7.2) ??   | Encoder ALPHA<br>Belt for Alpha encoder (AT5/710 - n.1) 91361666<br>Bearings group<br>Oscillator Linear 2 (ex7.6)<br>Oscillator connection cables<br>Fiber optic cables of the Encoders<br>Frigorifer BKW (linear motions only)<br>Air pressure accumulator (ex7.1)<br>Side channel blowing (ex7.2) ?? | 81024620<br>96004410<br>81096556R<br>Non Sostituito<br>Non Sostituito<br>Non Sostituito | 15,00 €<br>97,00 €<br>9.124,00 €                       | CINGHIA DENTATA AT5-10-710<br>DENTATA AT5 gruppo ingranaggi (necessario per revisione)<br>OSCILLATORE LINEARE NCF2linear  |
| 5               | NCF cabinet                | Cabina NCF                         | Condizionatore/Frigorifero (ex7.5)<br>Monitor<br>PC<br>FDR 521<br>Servoamplificatore   | Conditioner / Fridge (ex7.5)<br>Monitor<br>PC<br>FDR 521<br>Servo Amplifier  | 91494046<br>81057906R<br>81057907R<br>81057905R   | 1.326,00 €<br>10.206,34 €<br>12.118,75 €<br>1.670,40 € | Pfannenberg dts 7301 climatizzatore<br>ICS 200<br>Fdr 521<br>LWE 721  |
| 6               | Mainspindle drive          | Mandrino                           | Modulo Mandrino siemens<br>Scheda di regolazione mandrino siemens<br>Cavo motore<br>Cavo Tacho<br>Motore Mandrino M10 (ex1.1)<br>Cinghia di trasmissione (ex1.2)<br>Drenaggio perdite refrigerante/ (ex1.3)<br>Mandrino (ex 1.6)<br>Motore ventilatore mandrino M15  | Spindle module siemens<br>Siemens spindle adjustment card<br>Motor cable<br>Tacho cable<br>Spindle motor M10 (ex1.1)<br>Belt drive (ex1.2)<br>coolant leakage drainback<br>Spindle (ex 1.6)<br>Spindle fan motor M15   | 90396333<br>96043061R<br>96027031<br>81172283   | 144,68 €<br>1.700,00 €<br>56,00 €<br>2.850,00 €        | 6FX8002-2CA31-1AFO<br>1PH7107-2NF00-0DB0<br>CINGHIA DENTATA AT10-32-1450<br>Mandrino SKF (SPUELROHR)  |
| 7               | F slide                    | Slitta F                           | Modulo LT G12<br>Scheda di regolazione<br>Cavo Motore<br>Cinghia<br>Frizione<br>Motore M1<br>Micro   | LT G12 module<br>Adjustment card<br>Motor cable<br>Belt<br>Clutch<br>Motor M1<br>Micro   | Non Sostituito<br>Non Sostituito  |  |   |
| 8               | X1-V1 Axes                 | Asse X1-V1                         | X1/V1<br>Scheda di regolazione<br>Cavo Motore<br>Cavo Tacho<br>Motore M2 (ex6.1)<br>Puleggia<br>Cinghia di trasmissione (ex6.2)<br>Mandrino senza gioco (ex6.3)<br>V1<br>Cavo Motore<br>Cavo Tacho<br>Motore M3 (ex3.1)<br>Cinghia<br>Raschiante(ex3.2)  | LT G13 module<br>Adjustment card<br>Motor cable<br>Tacho cable<br>Motor M2 (ex6.1)<br>Pulley<br>Belt drive (ex6.2)<br>Spindle without clearance (ex6.3)<br>Motor cable<br>Tacho cable<br>Motor M3(ex3.1)<br>Belt<br>wiper  | 81219541  | 19,48 €  | T5-610  |
| 10              | Tailstock                  | Contropunta                        | Elettrovalvola<br>E48.5 Pressostato bloccato avanti (ex4.5)<br>E48.6 Fine corsa indietro<br>E48.7 Fine corsa avanti<br>Contropunta (attrezzatura)(ex4.1)<br>Cilindro<br>Regolatori d'aria<br>Deceleratore (ex4.2)<br>Canotto alloggiamento contropunta (ex4.3)   | Solenoid<br>E48.5 Pressure switch locked forward (ex4.5)<br>E48.6 End of travel back<br>Tailstock<br>Cylinder<br>Air regulators<br>shock absorber<br>mandrel   | 81159182<br>91369545  | 128,00 €<br>330,60 €                                   | IFM PK6524<br>Bruckner  |
| 11              | Ejector Staff              | Bastone Espulsore                  | Elettrovalvola<br>E49.4 Finecorsa avanti<br>E49.5 Finecorsa Indietro<br>Cavo fine corsa<br>Cilindro (1.5)<br>Asta espulsore (+ molla + giunto con calamita)  | Solenoid<br>E48.4 Forward limit switch<br>E49.5 Limit switch back<br>end of travel cable<br>Cylinder<br>Ejector rod (+ spring + joint with magnet)   | 96335780<br>91444579<br>81052493<br>81164625<br>Home made                               | 14,28 €<br>10,86 €<br>11,71 €<br>119,11 €<br>87,60 €   | FESTO SME-8-S-LED-24 FINE CORSA<br>BALLUFF BES 516-325-S4-C<br>Cavo Festo SIM-M8-3GB-5-PU<br>DNC50-300-PPV-A-QS2(PNEUMATIKZUNDER DOPPELTV<br>moola a catalogo / asta homemade / |
| 12              | Splash guard               | Riparo Paraspruzzi                 | Elettrovalvola<br>E49.0 Finecorsa avanti<br>E49.1 Finecorsa indietro<br>Cilindro   | Solenoid<br>E48.4 Forward limit switch<br>E49.5 Limit switch back<br>Cylinder  |   |  |   |
| 13              | Central lubrication system | Sistema di Lubrificazione          | Elettrovalvole di dosaggio (ex8.2)<br>Magnetotermico<br>Pompa (ex8.1)<br>E33.0 Galleggiante<br>E33.1 Impianto in pressione<br>Tubazioni (ex8.3)<br>Lubrificante a goccia (terminale sulla tubazione)   | dosing valves<br>Circuit breaker<br>pump<br>E33.0 Floating<br>E33.1 Pressurized system<br>Tubes<br>Drip lubricant (terminal on the pipe)   | 91108232<br>A catalogo<br>81207405  | 454,37 €<br>20,00 €<br>256,83 €                        | Vogel MFES-2000-299<br>Vogel  |
| 14              | Cooling system             | Sistema refrigerante               | Elettrovalvole/Rubinetto Pneumatici<br>Tubazioni<br>Pompa Lavaggio M30 (ex13.2)<br>Motore Filtro M35 (ex13.1)<br>Motore Trasportatore Truciolli M40 (ex13.1)<br>Vasca refrigerante (ex13.5)<br>Filtro Lamellare (vasca refr.) (ex13.4)<br>Filtro a cartuccia (ex13.4)<br>Riduttore Motore filtro a cartuccia<br>Catena (ex13.6)<br>Valvola di non ritorno (ex13.3)<br>Nastro trasportatore truciolli | Solenoid Valves / Pneumatic Taps<br>Tubes<br>coolant pump M30<br>motor (chain and edge filter) M35<br>motor (chip conveyor) M40<br>coolant tank<br>lamellar filter<br>cartridge filter<br>Cartridge filter motor reducer<br>Chain<br>flush back valve<br>Chip conveyor belt                            | 10053760<br>Non Sostituito<br>96291009<br>Non Sostituito<br>91325406<br>Non Sostituito  | 70,00 €<br>733,72 €<br>230,00 €<br>195,00 €            | valvola a sfera con attuttore pneumatico da 1"<br>BRINKMANN TAL 302/270<br>Incluso in Riduttore (15.4)<br>filtro lamellare<br>MAHLE PI 6014-010 ELEM FILTRANTE                  |
| 15              | Housing                    | Scocca macchina                    | Finestre con vetri di sicurezza (ex11.3)<br>Guarnizioni vetri (ex11.4)<br>Smorzatore per apertura porte (solo macchine manuali) (ex11.5)<br>interbloccaggi porte (micro porte) (ex11.2)  | safety glass window<br>sealing window<br>shock absorber for door opening (manual machines only)<br>door interlocks   | Non Sostituito  |  |   |
| 16              | Pneumatic system           | Pneumatica                         | Tubi aria<br>Raccordi rapidi<br>Manometri<br>Ugelli (ex9.1)  | Air tubes<br>Quick fittings<br>pressure gauge<br>hoses   | a catalogo<br>a catalogo<br>a catalogo<br>a catalogo                                    | 2,00 €<br>8,73 €                                       | 0,21/M(8)-0,16/M(6)   |
| 17              | EWAB                       | EWAB                               | Stop pallet<br>Elettrovalvole<br>Micro controllo posizione pezzo<br>Fotocellule<br>Controllo posizione pezzo cilindro  | Stop pallet<br>Solenoid<br>Micro piece position control<br>photoCells<br>Checking the cylinder piece position  | visionato di recup<br>10047833<br>96277917  | - €<br>13,72 €<br>129,00 €                             | TELEMECANIQUE XS6088PAM12 12-24V/DC<br>cilindro Festo FEN-12/16-50  |
| 18              | Robot                      | Robot                              | Cabina elettrica<br>Tastiera<br>Pinze<br>Motori assi<br>Riduttori<br>Pressostato generale<br>Cablaggi  | Electric cabin<br>Keyboard<br>pliers<br>Axis motors<br>adapter<br>General pressure switch<br>Field wiring  | Non Sostituito<br>96525091<br>81130551<br>a catalogo<br>Non Sostituito                  | 767,00 €<br>977,00 €<br>1.221,00 €                     | SOMMER GH-5230/03 PINZA PARALLELA<br>FANUC A06B-0115-B04 SERVOMOTORE (asse)5<br>Riduttore Fanuc (asse j5)   |

Figura 23: Distinta base della FDK

# Attachment B

| Tipo di ordine | C.d.C. | Linea | Numero MP | Equipment | Ordine   | # Manutentori | Data acquis. | DESCRIZIONE INTERVENTO  | Riferimento sottocomponente | H di manutenzione | H di FM | Sostituito Si/No | TARIFFA LINEA STD |
|----------------|--------|-------|-----------|-----------|----------|---------------|--------------|---|-----------------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|
| ZM41           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 71049999 | 1             | 05/01/2017   | Invertito rotazione trasportatore dopo sostituzione   | 14.5                        | 0,50              | 0,50    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2071      | 81011472  | 70156252 | 2             | 09/01/2017   | Ricerca guasto su index mandrino, controllo abilitazioni in cabina, pulizia cinghia e micro conteggio impulsi con regolazioni   | 6.6                         | 2,00              | 0,62    | 0                | 366,73 €          |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2071      | 81011472  | 70156569 | 1             | 14/01/2017   | Sostituito cilindro premezzo  | 17.6                        | 0,50              | 0,38    | 1                | 366,73 €          |
| ZM41           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 71050223 | 2             | 16/01/2017   | Controllo rotazione motori trasportatore dopo sostituzione gruppo completo ed inversione cavi motore  | 14.11                       | 1,00              | 1,00    | 1                | 366,73 €          |
| ZM41           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 71050298 | 2             | 18/01/2017   | Sostituzione vasca e filtri   | 14.9                        | 6,00              | 6,00    | 1                | 366,73 €          |
| ZM41           | 254282 | 16    | 2071      | 81011472  | 71050361 | 1             | 20/01/2017   | Collegamento motori trasportatore truciolari  | 14.5                        | 0,50              | 0,50    | 0                | 366,73 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 71050262 | 1             | 25/01/2017   | Bloccare tubo refrigerante. Bloccaggio e sistemazione tubo  | 14.2                        | 0,50              | 0,50    | 0                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 71050267 | 1             | 30/01/2017   | Sostituzione innesto rapido refrigerante gole   | 14.2                        | 0,50              | 0,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2151      | 81012438  | 70158114 | 1             | 08/02/2017   | Disintasato pistola e tubi impianto refrigerante  | 14.2                        | 0,50              | 0,50    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70158113 | 1             | 08/02/2017   | Pistola refrigerante lavaggio macchina intasata. Disintasato pistola e tubi impianto refrigerante   | 14.2                        | 0,50              | 0,50    | 0                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2150      | 81012437  | 71050724 | 1             | 08/02/2017   | Sostituzione tubi lavaggio  | 14.2                        | 2,50              | 2,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 70158117 | 1             | 10/02/2017   | Sostituito manometro contropunta  | 16.4                        | 1,00              | 0,60    | 1                | 366,73 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70158677 | 1             | 18/02/2017   | Ricerca guasto espulsore: Smontato e sostituzione asta  | 11.6                        | 2,00              | 2,00    | 1                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 71051017 | 1             | 22/02/2017   | Sostituzione lampada interna  | 3.1                         | 1,00              | 0,50    | 1                | 366,73 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2151      | 81012438  | 70159441 | 4             | 28/02/2017   | Guasto cambio utensile troppo lungo<br>Ricerca guasto, verifica integrità lamella, controllo micro cambio utensile, prove varie, controllo macchina in ciclo automatico | 4.8                         | 4,00              | 2,00    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2151      | 81012438  | 70159447 | 2             | 03/03/2017   | Guasto su posizionamento<br>Ricerca guasto su posizionamento verificato abilitazioni sostituzione proximity posizionamento e prove di funzionamento                     | 17.6                        | 3,00              | 1,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70159828 | 2             | 03/03/2017   | Modifica su impianto refrigerante   | 14.2                        | 4,00              | 2,00    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 70160835 | 1             | 20/03/2017   | Applicato tubo contropunta  | 16.1                        | 1,00              | 0,50    | 0                | 366,73 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70162408 | 2             | 07/04/2017   | Sostituito PC su NCF con alimentatore e varie prove a banco di messa in servizio  | 5.3                         | 8,00              | 3,00    | 1                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 71051658 | 1             | 10/04/2017   | Sostituzione asta espulsore   | 11.6                        | 2,50              | 2,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2150      | 81012437  | 71051737 | 4             | 11/04/2017   | Sostituito cavo oscillatore e rimontaggio oscillatore.  | 4.9                         | 11,00             | 4,00    | 1                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70163217 | 4             | 20/04/2017   | FDK MP2149 smontato oscillatore ed invertito con oscillatore su MP2150  | 4.8                         | 8,00              | 4,00    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012436  | 70163277 | 1             | 20/04/2017   | Non tiene misura. Invertito FDR521 con 2150   | 5.4                         | 1,00              | 0,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2150      | 81012437  | 71052080 | 2             | 27/04/2017   | Montato oscillatore mancante  | 4.8                         | 2,00              | 2,00    | 0                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2150      | 81012437  | 71052102 | 2             | 28/04/2017   | Montaggio motore asse "5" robot fanuc   | 18.4                        | 2,50              | 1,50    | 1                | 669,10 €          |
| ZM41           | 254283 | 18    | 2150      | 81012437  | 71052102 | 2             | 28/04/2017   | Montaggio vasca refrigerante e modifica su vasca con scarico su corridoio   | 14.8                        | 5,00              | 2,50    | 0                | 669,10 €          |
| ZM40           | 254283 | 18    | 2149      | 81012437  | nd       | 1             | 04/05/2017   | Sovratemperatura ncf  | 5.1                         | 0,50              | 0,50    | 0                |                   |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 70164681 | 1             | 11/05/2017   | Ricerca guasto variazioni misure. Invertito gruppo schede fdr521 più verifiche temperatura cabina ncf   | 5.4                         | 1,00              | 1,00    | 1                | 366,73 €          |
| ZM40           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | nd       | 1             | 12/05/2017   | Tubo lubrificante contropunta KO  | 13.8                        | 1.5               | 1,00    | 0                |                   |
| ZM41           | 254282 | 16    | 2070      | 81011471  | 71052282 | 3             | 12/05/2017   | Condizionatore ko. Sostituito Condizionatore  | 1.4                         | 3,00              | 0,00    | 1                | 366,73 €          |

Figura 24: estratto del file Excel con lo storico degli interventi.

# Attachment C

| Componente | Nome   | # eventi totali | # di eventi per anno | Tempi Medi Manu | Costi Medi Manu | N° sostituzioni | Descrizione   | Codice Sap     | Costo ricambio |
|------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---|----------------|----------------|
| 1.4        | Climatizzatore E70                             | 3               | 1,50                 | 3,33            | 143,99 €        | 2               | Pfannenberg dts 7301 climatizzatore                                     | 91494046       | 1.326,00 €     |
| 2.2        | Pulsanti e Selettori                           | 3               | 1,50                 | 1,67            | 72,00 €         | 2               | ELAN ZSS21S12 I+II SELETTORE A CHIAVE                                   | 91494350       | 41,00 €        |
| 3.1        | Luci Zona Lavoro                               | 3               | 1,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 3               | lampada waldmann MQAL 24N   | 81200151       | 223,41 €       |
| 4.2        | Cinghia Encoder Alpha (AT5/710 - n.1) 91361666 | 7               | 3,50                 | 1,93            | 83,31 €         | 7               | CINGHIA DENTATA AT5-10-710  | 81024620       | 15,00 €        |
| 4.3        | Cuscinetti gruppo                              | 2               | 1,00                 | 4,00            | 172,79 €        | 0               | PULEGGIA DENTATA AT5 gruppo ingranaggi (necessario per revisione        | 96004410       | 97,00 €        |
| 4.8        | Oscillatore Linear 2                           | 30              | 15,00                | 4,10            | 177,10 €        | 4               | OSCILLATORE LINEARE NCF2linear  | 81096556R      | 9.124,00 €     |
| 4.9        | Cavi di connessione oscillatore                | 1               | 0,50                 | 11,00           | 475,15 €        | 1               |   | Non Sostituito |                |
| 4.10       | Cavi a fibra ottica degli Encoder              | 3               | 1,50                 | 3,67            | 158,39 €        | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 4.11       | Frigorifer BKW (solo per moti lineari)         | 1               | 0,50                 | 2,00            | 86,40 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 4.15       | Gruppo Encoder                                 | 1               | 0,50                 | 6,00            | 259,20 €        | 1               | legato al 4.3   |                | 97,00 €        |
| 5.1        | Condizionatore/Frigorifero                     | 12              | 6,00                 | 1,96            | 84,59 €         | 5               | Pfannenberg dts 7301 climatizzatore                                     | 91494046       | 1.326,00 €     |
| 5.3        | PC   | 6               | 3,00                 | 3,25            | 140,39 €        | 1               | ICS 200   | 81057906R      | 10.206,34 €    |
| 5.4        | FDR 521  | 2               | 1,00                 | 1,00            | 43,20 €         | 2               | Fdr 521   | 81057907R      | 12.118,75 €    |
| 5.5        | Servoamplificatore                             | 2               | 1,00                 | 6,00            | 259,19 €        | 2               | LWE 721   | 81057905R      | 1.670,40 €     |
| 6.4        | Cavo Tacho                                     | 1               | 0,50                 | 2,00            | 86,39 €         | 1               | 6FX8002-2CA31-1AFO  | 90396333       | 144,68 €       |
| 6.5        | Motore Mandrino M10                            | 1               | 0,50                 | 11,00           | 475,16 €        | 1               | 1PH7107-2NF00-0DB0  | 96043061R      | 1.700,00 €     |
| 6.6        | Cinghia di trasmissione                        | 7               | 3,50                 | 2,50            | 108,00 €        | 4               | CINGHIA DENTATA AT10-32-1450  | 96027031       | 56,00 €        |
| 6.8        | Mandrino                                       | 6               | 3,00                 | 13,92           | 601,18 €        | 6               | Mandrino SKF (SPUELROHR)  | 81172283       | 2.850,00 €     |
| 7.5        | Frizione                                       | 1               | 0,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 7.9        | Micro  | 4               | 2,00                 | 0,87            | 37,79 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 8.7        | Cinghia di trasmissione                        | 1               | 0,50                 | 4,00            | 172,80 €        | 1               | T5-610  | 81219541       | 19,48 €        |
| 10.2       | E48.5 Pressostato bloccato avanti              | 1               | 0,50                 | 0,00            | 0,00 €          | 0               | IFM PK6524  | 81159182       | 128,00 €       |
| 10.5       | Contropunta (attrezzatura)                     | 1               | 0,50                 | 1,50            | 64,80 €         | 0               | Bruckner  | 91369545       | 330,60 €       |
| 11.2       | E49.4 Finecorsa avanti                         | 4               | 2,00                 | 1,62            | 70,19 €         | 2               | FESTO SME-8-S-LED-24 FINE CORSA   | 96335780       | 14,28 €        |
| 11.3       | E49.5 Finecorsa indietro                       | 2               | 1,00                 | 1,00            | 43,20 €         | 1               | BALLUFF BES 516-325-S4-C  | 91444579       | 10,86 €        |
| 11.4       | Cavo fine corsa                                | 2               | 1,00                 | 1,25            | 53,99 €         | 1               | Cavo Festo SIM-M8-3GB-5-PU  | 81052493       | 11,71 €        |
| 11.5       | Cilindro                                       | 1               | 0,50                 | 0,50            | 21,60 €         | 0               | Cilindro Festo DNC50-300-PPV-A-QS2 (PNEUMATIKZYLINDER DOPPELTWIRKENDER) | 81164625       | 119,11 €       |
| 11.6       | Asta espulsore (+ molla + giunto con calamita) | 11              | 5,50                 | 2,41            | 104,07 €        | 5               | molla a catalogo / asta homemade /                                      | Home made      | 87,60 €        |
| 13.8       | Tubazioni                                      | 6               | 3,00                 | 1,00            | 43,20 €         | 4               |   | A catalogo     | 20,00 €        |
| 14.1       | Elettrovalvole/Rubinetto Pneumatici            | 3               | 1,50                 | 1,83            | 79,20 €         | 3               | valvola a sfera con attuatore pneumatico da 1"                          | 10053760       | 70,00 €        |
| 14.2       | Tubazioni                                      | 27              | 13,50                | 1,43            | 61,60 €         | 15              |   | Non Sostituito |                |
| 14.3       | Pompa Lavaggio M30                             | 1               | 0,50                 | 0,50            | 21,59 €         | 0               | BRINKMANN TAL 302/270   | 96291009       | 733,72 €       |
| 14.5       | Motore Trasportatore Truciolli M 40            | 2               | 1,00                 | 0,50            | 21,60 €         | 0               | Incluso in Riduttore (15.4)   |                |                |
| 14.8       | Vasca refrigerante                             | 1               | 0,50                 | 5,00            | 216,00 €        | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 14.9       | Filtro Lamellare (vasca refr.)                 | 5               | 2,50                 | 3,90            | 168,47 €        | 5               | filtro lamellare  |                | 230,00 €       |
| 14.10      | Filtro a cartuccia                             | 12              | 6,00                 | 1,46            | 63,00 €         | 10              | MAHLE PI 6014-010 ELEM FILTRANTE  | 91325406       | 195,00 €       |
| 14.11      | Riduttore Motore trasportatore truciolli       | 1               | 0,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 1               | BAUER BS06-62U/D06LA/MG   | 81222363       | 471,32 €       |
| 14.15      | Nastro trasportatore truciolli                 | 1               | 0,50                 | 3,00            | 129,60 €        | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 15.4       | interbloccaggi porte (micro porte)             | 3               | 1,50                 | 0,83            | 36,00 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 16.1       | Tubi aria                                      | 16              | 8,00                 | 0,97            | 41,85 €         | 9               | 0,21/M(8)-0,16/M(6)   | a catalogo     | 2,00 €         |
| 16.4       | Manometri                                      | 2               | 1,00                 | 1,00            | 43,20 €         | 2               |   | a catalogo     | 8,73 €         |
| 16.5       | Silenziatori                                   | 1               | 0,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 1               | 1/4-2,22 1/2-6,25   | a catalogo     | 6,25 €         |
| 17.1       | Stop pallet                                    | 1               | 0,50                 | 0,50            | 21,59 €         | 0               | revisionato di recupero   |                | 0,00 €         |
| 17.2       | Dosatore                                       | 1               | 0,50                 | 2,00            | 86,39 €         | 0               | revisionato di recupero   |                | 0,00 €         |
| 17.4       | Micro controllo posizione pezzo                | 2               | 1,00                 | 0,75            | 32,40 €         | 1               | TELEMECANIQUE XS608BIPAM12 12-24V/DC                                    | 10047833       | 13,72 €        |
| 17.6       | Controllo posizione pezzo cilindro             | 3               | 1,50                 | 2,17            | 93,59 €         | 2               | cilindro Festo FEN-12/16-50   | 96277917       | 129,00 €       |
| 18.1       | Cabina elettrica                               | 3               | 1,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |
| 18.3       | Pinze  | 9               | 4,50                 | 1,06            | 45,60 €         | 5               | SOMMER GH-5230/03 PINZA PARALLELA                                       | 96525091       | 767,00 €       |
| 18.4       | Motori assi                                    | 1               | 0,50                 | 2,50            | 108,00 €        | 1               | FANUC A06B-0115-B04 SERVOMOTORE (assej5)                                | 81130551       | 977,00 €       |
| 18.5       | Riduttori                                      | 1               | 0,50                 | 4,00            | 172,78 €        | 1               | Riduttore Fanuc (asse j5)   | a catalogo     | 1.221,00 €     |
| 18.8       | Cablaggi                                       | 1               | 0,50                 | 1,00            | 43,20 €         | 0               |   | Non Sostituito |                |

Figura 25: estratto del file Excel, la base dati viene aggregata per ogni componente, ricavando i valori medi.

Attachment D

| machine | component/machine part             | Riferimento sottocomponente | Nome sottocomponente                           | materialcost in EUR | breakdown time in h | number of occurrence per year | stillstandcost per h | cube materialcost | cube breakdowncost | cube number of occurrence | calculation | maintenanceeffort per occurrence in h | maintenance strategy recommendation        | current strategy      | expert recommendation                | N° di sostituzioni | overall cost per occurrence in EUR | overall cost per year | measures  |
|---------|------------------------------------|-----------------------------|--|---------------------|---------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------|--------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------------|--|-----------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|---|
| FDK     | Pannello comandi                   | 2.2                         | Pulsanti e Selettori                           | 41,00 €             | 1,00                | 1,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 1,67                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 2                  | 357,45 €                           | 515,68 €              |   |
| FDK     | Componenti tornitura di precisione | 4.2                         | Cinghia Encoder Alpha (ATS/710 - n.1) 91361666 | 15,00 €             | 1,50                | 3,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 4                         | 124         | 1,93                                  | elimination                                | periodic long         | elimination                          | 7                  | 469,97 €                           | 1.644,89 €            |   |
| FDK     | Componenti tornitura di precisione | 4.3                         | Cuscinetti gruppo                              | 97,00 €             | 0,00                | 1,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 4,00                                  | crash / elimination                        | periodic long         |                                      | 0                  | 234,99 €                           | 137,99 €              |   |
| FDK     | Componenti tornitura di precisione | 4.8                         | Oscillatore Linear 2                           | 9.124,00 €          | 2,12                | 15,00                         | 258,96 €             | 5                 | 2                  | 5                         | 525         | 4,10                                  | periodic short                             | crash                 | condition based, sequential / online | 4                  | 9.813,56 €                         | 28.591,46 €           | sensore / controllo in base alle condizioni           |
| FDK     | Componenti tornitura di precisione | 4.10                        | Cavi a fibra ottica degli Encoder              | 0,00 €              | 1,67                | 1,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 3                         | 123         | 3,67                                  | crash / elimination                        | crash                 |                                      | 0                  | 558,09 €                           | 837,13 €              |   |
| FDK     | Cabina NCF                         | 5.1                         | Condizionatore/Frigorifero                     | 1.326,00 €          | 0,86                | 6,00                          | 258,96 €             | 5                 | 1                  | 5                         | 515         | 1,96                                  | periodic short                             | periodic short        |                                      | 5                  | 1.615,83 €                         | 5.053,97 €            | termostato  |
| FDK     | Cabina NCF                         | 5.3                         | PC   | 10.206,34 €         | 1,67                | 3,00                          | 258,96 €             | 5                 | 2                  | 4                         | 524         | 3,25                                  | periodic short                             | crash                 |                                      | 1                  | 10.750,05 €                        | 6.734,31 €            |   |
| FDK     | Cabina NCF                         | 5.4                         | FDR 521  | 12.118,75 €         | 0,75                | 1,00                          | 258,96 €             | 5                 | 1                  | 3                         | 513         | 1,00                                  | periodic long / periodic short             | crash                 |                                      | 2                  | 12.347,47 €                        | 12.347,47 €           |   |
| FDK     | Cabina NCF                         | 5.5                         | Servoamplificatore                             | 1.670,40 €          | 2,00                | 1,00                          | 258,96 €             | 5                 | 2                  | 3                         | 523         | 6,00                                  | periodic long / periodic short             | crash                 |                                      | 2                  | 2.395,30 €                         | 2.395,30 €            |   |
| FDK     | Mandrino                           | 6.5                         | Motore Mandrino M10                            | 1.700,00 €          | 3,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 5                 | 3                  | 2                         | 532         | 11,00                                 | periodic long / condition based sequential | crash                 |                                      | 1                  | 2.856,34 €                         | 1.428,17 €            | sensori di vibrazione                                 |
| FDK     | Mandrino                           | 6.6                         | Cinghia di trasmissione                        | 56,00 €             | 1,52                | 3,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 4                         | 124         | 2,50                                  | elimination                                | periodic long         | periodic long                        | 4                  | 535,12 €                           | 1.788,94 €            | modifica Mahle con pezzo più resistente               |
| FDK     | Mandrino                           | 6.8                         | Mandrino                                       | 2.850,00 €          | 6,25                | 3,00                          | 258,96 €             | 5                 | 4                  | 4                         | 544         | 13,92                                 | condition based, sequential / online       | periodic long         | periodic long                        | 6                  | 4.948,60 €                         | 14.845,79 €           |   |
| FDK     | Slitta F                           | 7.5                         | Frizione                                       | 0,00 €              | 0,50                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 2                         | 112         | 1,00                                  | crash                                      | crash                 |                                      | 0                  | 163,98 €                           | 81,99 €               |   |
| FDK     | Asse X1-V1                         | 8.7                         | Cinghia di trasmissione                        | 19,48 €             | 2,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 2                         | 122         | 4,00                                  | crash                                      | crash                 |                                      | 1                  | 675,40 €                           | 337,70 €              |   |
| FDK     | Contropunta                        | 10.5                        | Contropunta (attrezzatura)                     | 330,60 €            | 1,50                | 0,50                          | 258,96 €             | 3                 | 2                  | 2                         | 322         | 1,50                                  | crash / periodic long                      | crash                 |                                      | 0                  | 770,79 €                           | 220,09 €              |   |
| FDK     | Bastone espulsore                  | 11.2                        | E49.4 Finecorsa avanti                         | 14,28 €             | 1,25                | 2,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 4                         | 114         | 1,62                                  | elimination                                | crash                 | crash                                | 2                  | 394,03 €                           | 773,79 €              | calamita a mg   |
| FDK     | Bastone espulsore                  | 11.4                        | Cavo fine corsa                                | 11,71 €             | 1,00                | 1,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 1,25                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 1                  | 313,79 €                           | 307,93 €              |   |
| FDK     | Bastone espulsore                  | 11.6                        | Asta espulsore (+ molla + giunto con calamita) | 87,60 €             | 1,55                | 5,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 5                         | 125         | 2,41                                  | elimination                                | crash                 | periodic long / periodic short       | 5                  | 570,91 €                           | 2.877,23 €            | Pulizia e lubrificazione con cadenza pianificata      |
| FDK     | Sistema di lubrificazione          | 13.8                        | Tubazioni                                      | 20,00 €             | 0,75                | 3,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 4                         | 114         | 1,00                                  | elimination                                | crash                 | crash                                | 4                  | 248,72 €                           | 726,15 €              |   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.1                        | Elettrovalvole/Rubinetto Pneumatici            | 70,00 €             | 1,67                | 1,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 3                         | 123         | 1,83                                  | crash / elimination                        | crash / elimination   | crash                                | 3                  | 564,85 €                           | 847,27 €              |   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.2                        | Tubazioni                                      | 0,00 €              | 0,81                | 13,50                         | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 5                         | 115         | 1,43                                  | elimination                                | crash                 | crash                                | 15                 | 258,95 €                           | 3.495,80 €            | Flussostato   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.5                        | Motore Trasportatore Trucioli M 40             | 0,00 €              | 0,50                | 1,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 0,50                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 0                  | 146,73 €                           | 146,73 €              |   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.8                        | Vasca refrigerante                             | 0,00 €              | 2,50                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 2                         | 122         | 5,00                                  | crash                                      | crash                 |                                      | 0                  | 819,89 €                           | 409,95 €              |   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.9                        | Filtro Lamellare (vasca refr.)                 | 230,00 €            | 3,00                | 2,50                          | 258,96 €             | 2                 | 3                  | 4                         | 234         | 3,90                                  | elimination / multiple redundancy          | periodic long         | multiple redundancy                  | 5                  | 1.141,42 €                         | 2.853,54 €            | filtri in parallelo                                   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.10                       | Filtro a cartuccia                             | 195,00 €            | 1,13                | 6,00                          | 258,96 €             | 2                 | 1                  | 5                         | 215         | 1,46                                  | elimination                                | singol redundancy     | singol redundancy                    | 10                 | 536,64 €                           | 3.024,83 €            | Sdoppiare a T il tubo prima del filtro                |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.11                       | Riduttore Motore trasportatore trucioli        | 471,32 €            | 1,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 3                 | 1                  | 2                         | 312         | 1,00                                  | crash / periodic long                      | crash                 |                                      | 1                  | 764,78 €                           | 382,39 €              |   |
| FDK     | Sistema refrigerante               | 14.15                       | Nastro trasportatore trucioli                  | 0,00 €              | 1,50                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 2                  | 2                         | 122         | 3,00                                  | crash                                      | periodic long         |                                      | 0                  | 491,94 €                           | 245,97 €              |   |
| FDK     | Scocca macchina                    | 15.4                        | interbloccaggi porte (micro porte)             | 0,00 €              | 0,67                | 1,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 0,83                                  | crash / elimination                        | periodic short        | periodic long / periodic short       | 0                  | 201,39 €                           | 302,08 €              | inserita nella pianificata per questioni di sicurezza |
| FDK     | Pneumatica                         | 16.1                        | Tubi aria                                      | 2,00 €              | 0,74                | 8,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 5                         | 115         | 0,97                                  | elimination                                | crash / periodic long | crash                                | 9                  | 227,21 €                           | 1.810,67 €            | apparecchio per misurare le perdite d'aria            |
| FDK     | Pneumatica                         | 16.4                        | Manometri                                      | 8,73 €              | 0,80                | 1,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 1,00                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 2                  | 250,40 €                           | 250,40 €              |   |
| FDK     | EWAB                               | 17.1                        | Stop pallet                                    | 0,00 €              | 1,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 2                         | 112         | 0,50                                  | crash                                      | crash                 |                                      | 0                  | 276,20 €                           | 138,10 €              |   |
| FDK     | EWAB                               | 17.2                        | Dosatore                                       | 0,00 €              | 1,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 2                         | 112         | 2,00                                  | crash                                      | crash                 |                                      | 0                  | 327,95 €                           | 163,97 €              |   |
| FDK     | EWAB                               | 17.4                        | Micro controllo posizione pezzo                | 13,72 €             | 0,75                | 1,00                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 0,75                                  | crash / elimination                        | crash                 | elimination                          | 1                  | 233,81 €                           | 226,95 €              | Distanziale tra il micro e il pistone                 |
| FDK     | EWAB                               | 17.6                        | Controllo posizione pezzo cilindro             | 129,00 €            | 1,63                | 1,50                          | 258,96 €             | 2                 | 2                  | 3                         | 223         | 2,17                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 2                  | 624,98 €                           | 872,97 €              |   |
| FDK     | Robot                              | 18.1                        | Cabina elettrica                               | 0,00 €              | 0,83                | 1,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 3                         | 113         | 1,00                                  | crash / elimination                        | crash                 | crash                                | 0                  | 250,30 €                           | 375,45 €              |   |
| FDK     | Robot                              | 18.3                        | Pinze  | 767,00 €            | 0,67                | 4,50                          | 258,96 €             | 4                 | 1                  | 5                         | 415         | 1,06                                  | periodic short                             | crash                 | periodic long / periodic short       | 5                  | 976,05 €                           | 2.858,23 €            |   |
| FDK     | Robot                              | 18.4                        | Motori assi                                    | 977,00 €            | 1,50                | 0,50                          | 258,96 €             | 4                 | 2                  | 2                         | 422         | 2,50                                  | periodic long                              | crash                 | periodic long / periodic short       | 1                  | 1.451,69 €                         | 725,84 €              |   |
| FDK     | Robot                              | 18.5                        | Riduttori                                      | 1.221,00 €          | 3,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 5                 | 3                  | 2                         | 532         | 4,00                                  | periodic long / condition based sequential | crash                 | periodic long / periodic short       | 1                  | 2.135,86 €                         | 1.067,93 €            | sentire fanuc per eventuali sistemi di controllo      |
| FDK     | Robot                              | 18.8                        | Cablaggi                                       | 0,00 €              | 1,00                | 0,50                          | 258,96 €             | 1                 | 1                  | 2                         | 112         | 1,00                                  | crash                                      | crash / periodic long | periodic long / periodic short       | 0                  | 293,46 €                           | 146,73 €              |   |

Figura 26: estratto del file Excel dove entra in gioco il cubo vero e proprio.

## Ringraziamenti

Al termine di questo viaggio non posso che ringraziare tutte le persone che mi hanno aiutato ad ottenere questo ambito titolo. Ringrazio il mio relatore il Prof. Maurizio Galetto, per la simpatia e l'assistenza fornitami.

Ringrazio i miei primi veri colleghi di lavoro della Mahle di La Loggia, per avermi accolto come un membro della squadra, lavorare con voi è stato un piacere. Ringrazio in particolare l'AD Roberto Papino per la simpatia e la fiducia dimostratami, i miei tutor, Paola Fortina e Roberto Giampaoli con cui ho condiviso l'ufficio e le giornate. La mia gratitudine va sicuramente a tutta la manutenzione capitanata da Gianpaolo Manassero e certamente al mio collega numero uno: Roberto Rossi, che ha reso possibile questo progetto grazie alla sua esperienza e intraprendenza.

Ringrazio la mia famiglia, i miei genitori e mio fratello che non mi hanno fatto mancare nessun tipo di sostegno e mi hanno guidato con il loro esempio fino a farmi diventare l'uomo che sono.

Un grazie e un imbrocchio al lupo ai miei compagni di corso, di triennale e magistrale, con cui ho condiviso progetti, litigate, ma anche tante risate che hanno reso piacevole questo travagliato percorso.

Ringrazio anche i miei amici per i perenni sfoggi di stupidità che mi aiutano a restare leggero e superficiale quanto basta.

Infine desidero ringraziare la mia fantastica ragazza Sara, il mio punto di riferimento e la mia più fidata consigliera che mi ha spinto tanti anni fa a intraprendere questa strada con coraggio.

## Bibliografia

- [1] Accenture, World Economic Forum. Digital Transformation Initiative. Maggio 2018. Available from: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/wp-content/blogs.dir/94/mp/files/pages/files/dti-executive-summary-20180510.pdf>
- [2] Sito di divulgazione sul mondo della qualità: <http://www.qualitiamo.com/evoluzione/lungo%20percorso.html> (ultima consultazione, gennaio 2019)
- [3] Sito di divulgazione sul mondo della qualità: <http://www.qualitiamo.com/evoluzione/gestione%20qualita.html> (ultima consultazione, febbraio 2019)
- [4] Sito di divulgazione sul mondo della qualità: <http://www.qualitiamo.com/costi/introduzione.html> (ultima consultazione, febbraio 2019)
- [5] Feigenbaum A V. Total Quality Control. New York. McGraw-Hill. 1961.
- [6] Crosby P B. Quality is Free: The Art of Making Quality Certain. McGraw-Hill. New York. 1979
- [7] Rivista mensile sulla qualità e il mondo dell'impresa: <https://www.magazinequalita.it/costi-non-qualita/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [8] Corso di ingegneria della qualità. Prof. Galetto M. 2018. Politecnico di Torino.
- [9] Fazzarri A L. Sistemi di gestione per la qualità. G. Giapichelli Editore. Torino. 2012
- [10] Wikiversity: [https://it.wikiversity.org/wiki/Introduzione\\_alla\\_Manutenzione](https://it.wikiversity.org/wiki/Introduzione_alla_Manutenzione) (ultima consultazione, febbraio 2019)

- [11] Sito ufficiale dell' associazione dei costruttori italiani di macchine utensili, robot e automazione: <http://www.ucimu.it/press/comunicati-stampa/v/2016/04/ucimu-sistemi-per-produrre-presentati-i-risultati-della-quinta-edizione-dellindagine-sul-parco-m-2/> (ultima consultazione, gennaio 2019)
- [12] Khazraei K, Deuse J. A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Facility Management*. 2011.
- [13] Fornitore di servizi per la gestione della manutenzione: <https://www.fifixsoftware.com/run-to-failure-maintenance/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [14] Sito di divulgazione sulla gestione della manutenzione: <http://manutenzione.ponesoft.it/Articoli/40.10.05.02.02> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [15] Fornitore di servizi per la gestione della manutenzione: <https://www.fifixsoftware.com/maintenance-strategies/predictive-maintenance/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [16] Roggia L, Apply Science srl. Data science and industry 4.0. A&T Torino 13 febbraio 2019.
- [17] Fornitore globale di servizi IoT: <https://www.hardware.io/it/iot/blog/machine-to-machine-iot> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [18] Società di consulenza: <https://www.crit-research.it/it/tecnologia/prognostica-e-manutenzione-preventiva/> (ultima consultazione, febbraio 2019)
- [19] Sito di divulgazione sulla gestione della manutenzione: <http://manutenzione.ponesoft.it/Articoli/40.10.05.02.02> (ultima consultazione, marzo 2019)

- [20] AIMA. Le dinamiche della manutenzione. 2006
- [21] Faragò A. TPM: La manutenzione in ottica LEAN. Logistica Management. Settembre 2016.
- [22] Blog sulla Lean Production: <http://www.leanevolution.com/blog/lean-management/tpm-total-productive-maintenance-pilastri-di-lean-manufacturing/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [23] Womack J P. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Journal of the Operational Research Society. 48(11). November 1997
- [24] [www.businessballs.com/dtiresources/quality\\_management\\_history.pdf](http://www.businessballs.com/dtiresources/quality_management_history.pdf) (ultima consultazione, marzo 2019)
- [25] Kaizen Institute: <https://it.kaizen.com/conosci-kaizen/origini-e-storia.html> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [26] Taiichi Ohno. Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press. 1988
- [27] Blog su gestione d'impresa: <http://www.staufenitalia.it/scorte-la-cause-e-la-soluzione-di-tutti-i-problemi/#more-2199> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [28] Lean Valley: <http://leanvalley.eu/2010/03/1009-glossario-poka-yoke/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [29] Galgano A. Le tre rivoluzioni. Caccia agli sprechi: raddoppiare la produttività con la Lean Production. Milano. Guerini e Associati. 2002.
- [30] <https://www.leanthinking.it>
- [31] Mensile dell'AIMAN: <https://www.manutenzione-online.com/digital/2019/gen/> (ultima consultazione, marzo 2019)

- [32] Lean manufacturing, tutti i progressi possibili grazie a Industria 4.0. Prof. Terzi, Miragliotta, Macchi, Portioli. Politecnico di Milano.
- [33] Blog su gestione d'impresa: <http://www.staufenitalia.it/lean-e-4-0-ce-sinergia/> (ultima consultazione, marzo 2019)
- [34] Sito ufficiale Ferrari: <https://formula1.ferrari.com/it/partner/mahle/> (ultima consultazione, gennaio 2019)
- [35] Sito ufficiale MAHLE group: <https://www.mahle.com/en/about-mahle/group-organization/> (ultima consultazione, febbraio 2019)
- [36] Sito ufficiale MAHLE group: [https://www.mahle.com/en/about-mahle/mahle\\_chronicle\\_/](https://www.mahle.com/en/about-mahle/mahle_chronicle_/) (ultima consultazione, febbraio 2019)
- [37] Sito ufficiale della società di consulenza: <https://www.conmoto.de/en/maintenance/> (ultima consultazione, gennaio 2019)