



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale
2022 - 2023

Sessione di Laurea Ottobre 2023

Studio ed implementazione della metodologia FMECA nel processo produttivo Barilla

*ANALISI E VALUTAZIONE DELLE CRITICITÀ DI GUASTO
PER RIDURNE I RISCHI E GLI EFFETTI*

Relatore:
Prof. Maurizio Galetto

Candidato:
Alberto Mogni

*“TUTTO È FATTO PER IL FUTURO,
ANDATE AVANTI CON CORAGGIO.”*

~ Pietro Barilla ~

*Alla mia famiglia,
che non ha mai smesso
di credere in me
fin dal primo giorno.*

INDICE

CAPITOLO UNO - Presentazione progetto

1.1 Premessa e Scopo del lavoro.....	9
1.1.1 Premessa	9
1.1.2 Obiettivo e scopo del lavoro	11
1.2 Il contesto aziendale Barilla	14
1.2.1 La storia.....	14
1.2.2 Prodotti e processi produttivi.....	16

CAPITOLO DUE – Analisi dei guasti ed affidabilità dei sistemi manutentivi

2.1 Metodo FMECA. Failure modes, effects and criticality analysis	21
2.1.1 Introduzione. Storia e primi sviluppi del metodo	21
2.1.2 Terminologia. Modi, effetti e cause di guasto	25
2.1.3 Metodologia. Fasi e sviluppo dell'approccio FMECA	28
- Prima fase – Scomposizione in item.....	30
- Seconda fase – Definizione modi e cause	32
- Terza fase – Effetti di guasto	33
- Quarta fase – Sintomi di guasto.....	35

- Quinta fase – Analisi Criticità, indice RPN	36
- Sesta fase – Pianificazione programmi manutentivi	44
2.1.4 Teamwork. Organizzazione di un’analisi.....	45
2.1.5 Conclusioni. Pro e contro della metodologia	47
2.2 Manutenzione – Principi generali di gestione.....	49
2.2.1 Affidabilità. Indici di misura e fondamenti.....	49
2.2.2 Politiche. Dall’obiettivo alle tre tipologie.....	52
- Manutenzione correttiva o a guasto (MBR).....	54
- Manutenzione preventiva ciclica (MBT)	55
- Manutenzione su condizione e predittiva (MBC).....	56
- Manutenzione migliorativa (MBR)	59
CAPITOLO TRE – Implementazione metodo FMECA e studio di	
affidabilità della linea	
3.1 FMECA – Implementazione del metodo e valutazione criticità	61
3.1.1 Analisi guasti. Metodo di lavoro ed assumptions.....	61
3.1.2 Struttura WBS. Definizione albero macchina e team work.....	71
3.1.3 Numerosità guasti. Rischio fermo linea e analisi di Pareto	81
3.1.4 Individuazione tipologia. Modi, cause ed effetti.....	85
3.1.5 Valori di criticità. Calcolo indici	87
3.1.6 Calcolo RPN	95

3.1.7 Matrice di criticità	108
3.1.8 MTBF, MTTR e costi	115

CAPITOLO QUATTRO – Identificazione delle future azioni da intraprendere e conclusioni finali di progetto

4.1. Risultati ottenuti.....	119
4.1.1 Valutazioni risultati FMECA	119
4.2 Possibili strategie manutentive e azioni future	126
4.2.1 Analisi tecnica. Piani manutentivi e risolutivi	126
4.2.2 Definizione costi	133
4.3. Conclusioni finali	136
4.3.1 Complicazioni nello sviluppo.....	138
4.3.2 Output finale e sviluppi futuri	138
5.1. Sitografia e bibliografia	141
6. Ringraziamenti	143

CAPITOLO UNO

PRESENTAZIONE PROGETTO E DEFINIZIONE DEL CONTESTO AZIENDALE BARILLA

1.1 Premessa e Scopo del lavoro

1.1.1. Premessa

Nel settore manifatturiero, in cui il concept di “Industria 4.0” sta prendendo sempre più campo, risulta di straordinaria importanza riuscire a captare quali siano i punti deboli e porre particolare attenzione ai dettagli. In previsione di ciò, questa tesi propone l’implementazione della metodologia FMECA, uno strumento strutturato e sistematico prevalente nel settore manutentivo, ad una linea di produzione Barilla, presso il plant di Castiglione delle Stiviere.

Un'attenta analisi dei guasti di processo, seguita da una valutazione delle criticità, è il primo step fondamentale per riuscire a classificare le risorse sulla base dei rischi operativi associati ai modi di guasto di ogni apparecchiatura.

Questo progetto lascia anche spazio alle diverse tipologie di attività manutentive che possono essere implementate sui macchinari, definendo così uno standard per risolvere la gestione degli interventi. Inoltre, la metodologia presa in esame aiuta a identificare e documentare tutti i modi possibili in cui gli asset di un'azienda possono fallire; permette di valutare le conseguenze che tali fallimenti possono avere sulla sicurezza, sull'operatività e sul funzionamento del sistema produttivo nel suo insieme. Un lavoro attento e minuzioso può portare sicuramente ad avere maggior fiducia per gli obiettivi finali, incrementare l'affidabilità e la disponibilità delle risorse installate.

La valutazione sistematica della criticità permette di definire quale sia il rischio reale, basato su indagini matematiche e statistiche, piuttosto che sulla semplice percezione individuale.

Una volta che gli asset produttivi sono stati classificati in base alla loro criticità, è possibile assegnare correttamente le priorità ai flussi di lavoro e programmare le azioni preventive o correttive da intraprendere.

All'interno di questo progetto, il focus è posto sui macchinari presenti sulla linea 11, produttrice degli iconici biscotti Pavesi: Goccioline (con le varianti Cocco ed Extra Dark) e Pan Di Stelle.

La linea di produzione in esame, nata dal progetto di inizio millennio definito Bakery 2000, è una delle più produttive ed efficienti; la scelta di definirla come oggetto di analisi è dovuta a più motivi:

- Il limite di tempo di fermo-linea è ridotto al minimo: il rendimento della linea si attesta attorno al 94-95%, ed un controllo di gestione inadeguato non permetterebbe di raggiungere i valori di KPI desiderati.
- La linea incorpora gli ultimi aggiornamenti inerenti alla componentistica ed ai sistemi di visione e controllo, in modo da poter avere un feedback più rapido ed efficace sulle attività manutentive.
- Rappresenta la seconda linea (su un totale di 11) per produttività oraria di tonnellate, per cui un miglioramento anche minimo in percentuale, può comportare grandi vantaggi.
- Scoprire e poi implementare migliorie su tale processo produttivo, rende più agevole e veloce innestarle sulle restanti linee, molto più accessibili e predisposte a cambiamenti.

1.1.2. Obiettivo e scopo del lavoro

L'azienda ha voluto iniziare questo progetto per poter definire, in maniera più scientifica possibile, quali fossero i punti critici ed applicare la metodologia FMECA per valutarne la situazione a livello quantitativo.

Oltre al suo obiettivo primario appena descritto, questo progetto dà la possibilità di giungere ad una più completa consapevolezza dei pregi e dei difetti della macchina/linea, dei guasti bloccanti, dei punti di perdita di efficienza produttiva e di quelli relativi ad una perdita di qualità.

Una buona riuscita di applicazione del metodo dipende sicuramente dalla definizione di uno standard di storico di dati, ricco di dettagli, precisioni e tempistiche degli interventi di manutenzione; oltre a questo, ma non per importanza, risulta fondamentale formalizzare uno studio affidabilistico, ponendo al centro anche i principali attori, come il responsabile dell'area tecnica, il responsabile della manutenzione e quello del continuous improvement.

L'analisi di rischio dei guasti e la valutazione delle criticità in manutenzione si concentra sulla raccolta di dati affidabili e accurati, definiti grazie alle condizioni di funzionamento del macchinario. L'obiettivo prefissato è perciò riuscire a definire a livello quantitativo quali siano le componenti più critiche, assegnando ad ognuna un livello di "criticità", dipendente da tre valori¹: occurrence, severity, detectability.

Una volta definiti quali siano i punti più propensi al guasto, e di conseguenza quali siano i tratti focali per il processo produttivo, le possibilità di intraprendere azioni tra loro diverse sono elevate.

In primo luogo, si può definire una gestione più accurata e completa possibile della lista ricambi, per ridurre al minimo il tempo di sostituzione della componente: una buona gestione dei tempi di rottura, sostituzione e ripristino delle attività, può sicuramente ridurre la criticità di alcuni punti.

In secondo luogo, è importante andare a definire un programma di manutenzione più idoneo possibile al tipo di componente: in tal senso, una politica di manutenzione incentrata sulla prevenzione può allungare il ciclo vita di una componente, oppure monitorare su condizione il livello qualitativo di una componente può prevenire il guasto e/o la sostituzione della stessa. Il condition monitoring, per l'appunto, è un particolare

¹ Valori definiti e spiegati in seguito al capitolo 2.1.3

approccio alla manutenzione che si propone di monitorare la salute e la sicurezza della macchina attraverso i dati rilevati dei sensori, adibiti a misurare le vibrazioni, la temperatura e altri parametri prodotti in tempo reale.

1.2 *Il Contesto Aziendale Barilla*

1.2.1. Storia

La storia dello stabilimento dei prodotti da forno Mulino Bianco di Castiglione delle Stiviere risale agli anni '70 quando il signor Barzetti, piccolo imprenditore della zona, diede il via alla produzione di biscotti con il marchio "Papà Barzetti".

Il 1980 diede inizio alla collaborazione tra Barzetti e i fratelli Barilla, con la prima copacking start-up, seguita



FIGURA 1.1 - STABILIMENTO BARILLA

nel 1987 dall'acquisizione da parte di Barilla delle 6 linee produttive di biscotti (attualmente rappresentate da un intero reparto all'interno del plant); dalla fine degli anni '80, lo stabilimento fu interamente acquisito da Barilla. Da allora il Gruppo di Parma ha investito nello stabilimento di Castiglione delle Stiviere oltre 200 milioni di euro in qualità, sicurezza, ambiente, innovazione e automazione, diventando così il più importante impianto produttivo di biscotti d'Europa. Una svolta tecnologica si segnò all'inizio del nuovo millennio: Barilla in un primo momento installa due nuove linee con il progetto Bakery 2000 (le due linee più efficienti e più produttive di tutto lo stabilimento, con circa 4 tonnellate orarie), e poi pone un focus sulla ricerca e sviluppo dei nuovi prodotti da far nascere sulle linee già esistenti.



FIGURA 1.2 - STABILIMENTO CASTIGLIONE DELLE STIVIERE

1.2.2. Prodotti e processi produttivi

Il plant Barilla di Castiglione delle Stiviere produce sia item del brand Mulino Bianco che Pavesi, sviluppandosi su un totale di 11 linee di produzione suddivise in 3 reparti.

Come è mostrato in *figura 3*, le tecnologie sviluppate e implementate per la formatura dei biscotti e degli snack salati sono principalmente tre, anch'esse distribuite tra i reparti.

CASTIGLIONE DS PRODUCTION TECHNOLOGIES







	LINES	FORMING TECHNOLOGY	PRODUCT	PACK
BISCUIT	1,2,3,6,4,5,10,11,12	Rotary Moulding 		<ul style="list-style-type: none"> • Bag • Stick • Flow-pack • Monopack
	2,3,6	Extrusion: Wire cut/ route press 		<ul style="list-style-type: none"> • Bag
CRACKER	8,9	Rotary docking cutting 		<ul style="list-style-type: none"> • Bag • Flow-pack

FIGURA 1.3 - TECNOLOGIE SVILUPPATE PER FORMATURA PRODOTTO

Tra queste, si possono definire:

- *Rotary Moulding* (stampaggio rotativo): prevede la presenza di tre rulli (gommato, rigato e stampo) che lavorano assieme per imprimere l'impasto nelle forme del rotostampo, e poi staccarle successivamente tramite l'ausilio della rete. Rappresenta la tecnologia più utilizzata in stabilimento, ed è quella installata sulla linea presa in esame per lo svolgimento del progetto di tesi.
- *Extrusion wire cut*: metodo di estrusione della pasta cruda, con sezionamento nella forma del biscotto desiderato tramite un filo metallico tagliente. Questo metodo di formatura conferisce al biscotto la tipica ruvidità sulla parte superiore (Campagnole, Molinetti)
- *Rotary Docking Cutting*: dopo una prima fase di laminazione ed assottigliamento dell'impasto, una rotativa incide la sagoma degli snack salati e definisce la forma voluta. Utilizzato nel reparto degli snack salati (Cracker, Sfoglie, Fiori d'acqua, Michetti).

Per riuscire a visualizzare quali siano i punti critici e quali i possibili rischi di guasto che si possono verificare, risulta basilare capire come sia strutturata una linea di produzione all'interno del Plant, ed in particolare definire quello che rappresenta il processo di produzione del biscotto.

La linea di produzione può essere scomposta così in cinque macrosettori:

1. *Zona impasto*: rappresenta la prima parte del percorso. Attraverso comandi automatici/semi manuali, le impastatrici richiamano gli ingredienti dai polmoni, dagli impianti di tubazioni e dal premix,

rispettivamente caricando il cono bilancia con sfarinati, liquidi e microdosi. Miscelato così l'impasto crudo e trasportato alla tramoggia di carico mediante l'utilizzo di nastri di alimentazione, è pronto ad essere formato.

2. *Formatura*: il punto focale per definire i parametri di aspetto, struttura e forma, come l'umidità e il peso. Introdotta all'interno di una tramoggia che alimenta la rotativa, la pasta è pressata tra i rulli e i biscotti prendono forma; attraverso un sistema di nastri di trasporto, il prodotto entra in forno, non prima di essere stato dorato e/o zuccherato in superficie in base a ciò che la ricetta base prevede.

3. *Zona forno – cottura*: i forni hanno una lunghezza di circa 100 metri, ed ogni prodotto ha un proprio diagramma di cottura. Generalmente i forni sono suddivisi in zone di cotture, ognuna delle quali può cuocere con fiamma diretta o con ciclo termico: queste tecniche conferiscono l'umidità e il colore richiesto dagli standard. Il tempo medio di cottura vai dai 5/6 minuti fino ai 10/12 minuti, dipendente dal biscotto/snack.

4. *Confezionamento ed impaccamento*: una volta giunto in uscita forno il prodotto cotto attraversa prima un sistema di visione, il quale analizza sia la parte superiore che inferiore del prodotto per verificarne l'esattezza, e poi un metal detector, per evitare la presenza di corpi metallici al suo interno. Un sistema di nastri di trasporto ha la duplice di funzione di alimentare le confezionatrici pronte all'impacchettamento e di raffreddare a temperatura ambiente il prodotto; in questo modo, i continui saltellamenti nel percorso evitano la perdita di struttura e la rottura dello stesso. La confezionatrice, forma il sacchetto e scarica il prodotto pesato al suo interno, per poi richiuderlo mediante una saldatura a caldo. Una bilancia ponderale e un sistema di raggi X convalidano la buona riuscita del pacchetto, prima di essere messo in casse di cartone e pallettizzato.

5. *Incassamento e pallettizzazione.* Il sacchetto pronto è posizionato all'interno di una cassa, precedentemente formata da una apri cartoni. Quando questa raggiunge il numero preciso di pacchetti al suo interno, è chiusa a caldo (o tramite nastro adesivo) ed è posizionata ordinatamente da un robot meccanico su un pallet. Una volta che il pallet può ritenersi completato, un sistema di navette LGV automatiche lo trasporta in magazzino, pronto ad essere prelevato e consegnato.

Di seguito, un diagramma illustrativo del processo sopra definito (*figura 4*).

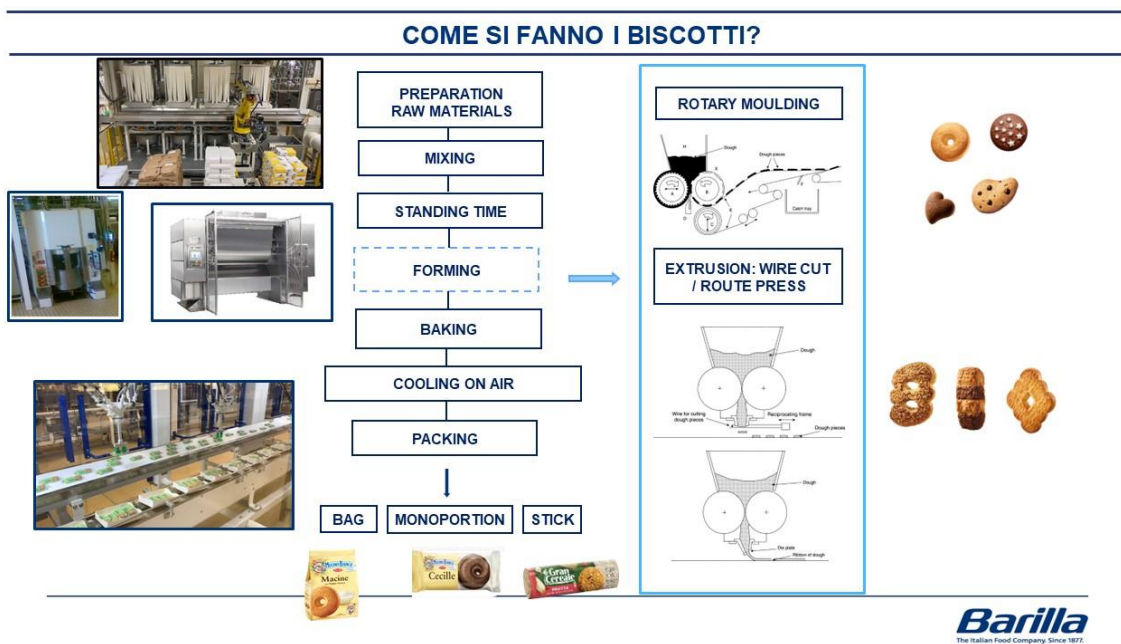


FIGURA 1.4 - PROCESSO PRODUTTIVO SCHEMATIZZATO

CAPITOLO DUE

ANALISI DEI GUASTI ED AFFIDABILITA' DEI SISTEMI MANUTENTIVI

2.1 METODO FMECA - Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

2.1.1 INTRODUZIONE. Storia e primi sviluppi del metodo

La FMECA (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) è una metodologia proattiva di studio affidabilistico che fu pensata originariamente a supporto della progettazione di prodotti e/o sistemi complessi.

Negli anni più recenti ha però trovato ampio spazio di applicazione in altri ambiti di utilizzo, quali l'analisi di processo e la manutenzione industriale.

Grazie agli ultimi e continui sviluppi tecnologici, la metodologia in esame può essere efficacemente impiegabile in ogni settore, tralasciando la tipologia di prodotto o di settore. Tra i suoi punti di forza non si può trascurare la robustezza logica del metodo, di fondamentale importanza per valutare l'affidabilità.

Tra i principali settori nei quali è maggiormente applicato, spiccano²:

- Aerospaziale
- Biomedico
- Opere Ingegneristiche
- Energia nucleare
- Cantieristico – Navale
- Trasporti Ferroviari e Urbani
- Automotive

Per quanto riguarda l'applicazione della metodologia nella manutenzione industriale, si è affermata come lo strumento d'elezione per:

1. Analisi delle modalità di guasto di un'entità complessa
2. Identificazione dei suoi elementi critici dal punto di vista affidabilistico.
3. Definizione ragionata del piano di manutenzione a partire dai componenti critici.

La storia dell'approccio FMEA/FMECA può essere fatta risalire alla metà del XX secolo, quando fu celebrato come uno dei procedimenti sistematici principali, mirati alla gestione e all'analisi dei guasti all'interno dei sistemi complessi. Tutto questo nasce con la necessità di arginare, e allo

² Cfr. cap. 2 "Capitolo Introduttivo" nel volume "FMEA – Il rischio tecnico industriale di prodotto e di processo".

stesso tempo ridurre, le criticità derivanti dall'alterazione delle funzionalità delle componenti.

È il 1949 quando la FMECA fu sviluppata ed integrata all'interno del programma spaziale della NASA (*Figura 1*), per la spedizione lunare Apollo, con lo scopo di prevedere il comportamento al guasto dei sistemi e adottare precise e dedicate contromisure per arginare i problemi processuali. In questo modo, la metodologia ha guadagnato ulteriore visibilità e perfezionamento, nonché arrivare alla quasi totale messa in sicurezza della missione e degli astronauti.

Nella realtà italiana, invece, il metodo FMECA ha trovato forte applicazione e influenza sotto il nome di *Metodo MAGEC* (Metodologia di Analisi Guasti, Effetti e Criticità), mirando in particolar modo a nuove tecniche progettuali in riferimento al piano di manutenzione.

In Italia fu utilizzata per la prima volta dal gruppo FIAT Auto nel 1985.

Con l'arrivo del nuovo millennio e il notevole sviluppo tecnologico ed industriale, anche l'approccio FMECA si è visto attore protagonista di

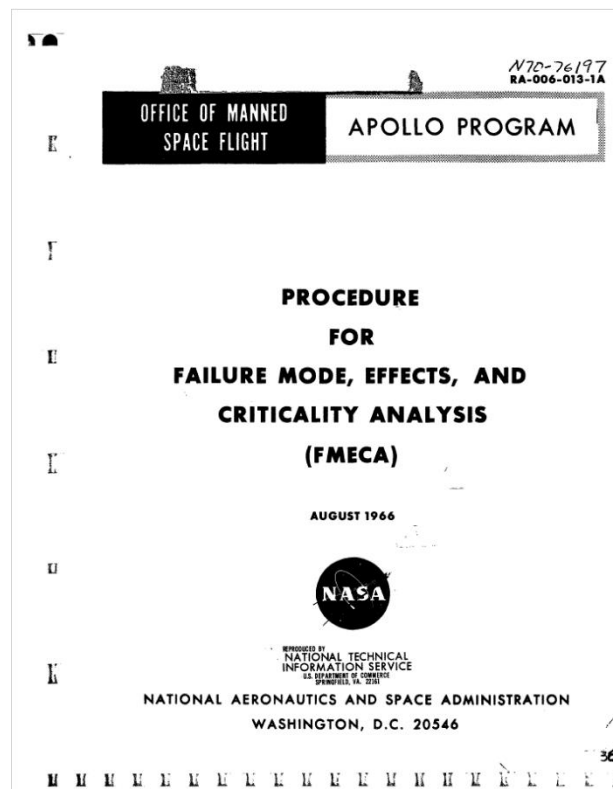


FIGURA 2.1 - FMECA PER LA SPEDIZIONE APOLLO

una ragguardevole espansione: poiché le industrie hanno riconosciuto il valore dell'analisi proattiva dei guasti, FMECA si è espansa oltre l'analisi della criticità. Ulteriori dimensioni, come l'analisi di rilevabilità (FMEA-FMECA) e l'analisi di manutenibilità, sono state incorporate nel processo. Ciò ha aiutato a identificare non solo la gravità dei guasti, ma anche la loro probabilità di rilevamento e facilità di riparazione.

Oggi, FMECA è ampiamente riconosciuta come metodologia fondamentale per la valutazione del rischio, la prevenzione dei guasti e il miglioramento continuo in vari settori. Si è evoluto e adattato per soddisfare le esigenze dei moderni sistemi complessi, garantendone l'affidabilità, la sicurezza e le prestazioni durante tutto il loro ciclo di vita.

Il metodo spiegato rappresenta una semplice estensione della originaria FMEA: la principale differenza è figurata dall'aggiunta di una precisa analisi di criticità per valutare, tramite strumenti e rappresentazione grafiche, la gravità delle conseguenze di un guasto correlata alla probabilità del suo verificarsi.

La valutazione e l'analisi eseguite nei settori più disparati, dalla medicina al manifatturiero, hanno il principale intento di sottolineare ed evidenziare le modalità di guasto con una probabilità di accadimento alta. Tutto questo, al fine di rappresentare una criticità per il sistema, deve essere unito ad un'alta gravità di conseguenze per evidenziare i punti di debolezza sui quali occorre intervenire con repentine modifiche.

È importante sottolineare perciò come il metodo in questione sia strettamente collegato al concetto di affidabilità del processo, inteso come la capacità che detiene un progetto/azienda di mantenere costante e per un

definito periodo temporale le caratteristiche qualitative e quantitative del sistema.

Vale la pena sottolineare come la metodologia FMECA non rappresenti una tecnica di problem solving; piuttosto può essere applicata a posteriori su un prodotto/processo per evidenziarne e scovare ogni punto di debolezza e valutarlo con parametri scientifici sulla strada di un miglioramento continuo. La FMECA è una metodologia che si è consolidata nel tempo sia per effetto della presenza di numerosi standard internazionali, che per la sua adozione, secondo diverse interpretazioni, nella pratica industriale.

In questo capitolo, la metodologia in questione è descritta riferendosi alla norma e agli standard internazionali: la normativa UNI³ richiama i criteri alla base della FMECA, elevandola ad elemento metodologico fondamentale nell'ingegneria della manutenzione.

2.1.2 TERMINOLOGIA. Modi, effetti e cause di guasto

Nell'implementazione della procedura FMECA, assume un ruolo di straordinaria importanza utilizzare una terminologia adatta per definire a 360° i guasti.

Nel momento in cui l'obiettivo comune è rappresentato da una corretta gestione della manutenzione, risulta necessario avere un quadro completo del guasto: la sua natura, i suoi meccanismi e i suoi conseguenti effetti.

Per questo motivo, un'attenta ricerca ed analisi storica di dati rilevanti può condurre ad una maggiore conoscenza riguardo al comportamento affidabilistico dell'entità. Per ogni guasto è infatti necessario chiedersi:

- a. Che effetti ha comportato?

³ UNI 10366:1994, "Manutenzione – Criteri di progettazione della manutenzione"

- b. In che modo si è mostrato?
- c. Quali ragioni lo hanno determinato?

Termine	Significato
Modo di guasto	Modo in cui si manifesta il guasto e il suo impatto sulle operazioni di un'entità.
Meccanismo di guasto	Fenomeno naturale di degrado del funzionamento di un'entità che perdurando nel tempo può portare al guasto della stessa.
Causa di guasto	Origine determinante che spiega il guasto, cioè la circostanza che porta al guasto.

TABELLA 2.1 - FMECA: TERMINOLOGIA D'USO COMUNE

Come sarà descritto in seguito, l'approccio è costituito da una procedura per l'analisi di un'entità complessa, la quale ruota attorno a due principi cardine:

1. *Scomposizione gerarchica dell'entità* sotto esame in sottoinsiemi a complessità decrescente, fino a giungere al livello di dettaglio-componenti desiderato.
2. *Esecuzione dell'analisi di affidabilità* ad ogni livello definito nello step precedente, e perciò nella determinazione di modo, causa, meccanismo ed effetto del guasto, valutando in modo opportuno la pericolosità del guasto in questione.

Avere a proprio servizio una situazione estremamente documentata su tutto ciò che può circondare il guasto, permette di poter arginare i pericoli che si presentano, adottando le più opportune azioni di progettazione, pianificazione e miglioramento della manutenzione.

In ragione di ciò, è stata richiamata di seguito (*tabella 1*) una terminologia usualmente adottata nel corso di uno studio FMECA: alcuni termini sono parte del linguaggio comune di gestione della manutenzione, altri sono specifici (*tabella 2*).

Termine	Significato
Effetto di guasto	Conseguenza sulla funzionalità di un'entità
Effetto locale	Conseguenza sulla funzionalità di un'entità al livello di scomposizione più basso
Effetto superiore	Conseguenza sulla funzionalità di un'entità al livello di scomposizione subito superiore al locale
Effetto finale	Conseguenza sulla funzionalità di un'entità al livello di scomposizione più alto
Azione correttiva	Modifica per correggere un difetto e/o prevenire o limitare una causa di guasto

TABELLA 1.2 - FMECA: TERMINOLOGIA D'USO SPECIFICO

2.1.3 METODOLOGIA. Fasi e sviluppo dell'approccio FMECA

FMECA è uno strumento essenziale per la gestione del rischio, il miglioramento della qualità e l'ingegneria dell'affidabilità. Aiuta a identificare potenziali guasti nelle prime fasi del processo di progettazione, consentendo agli ingegneri di prendere decisioni informate e implementare misure appropriate per prevenire o ridurre al minimo l'impatto dei guasti sulle prestazioni, sulla sicurezza e sull'affidabilità complessive del sistema.

Come spiegato in precedenza, la FMECA pone le basi su una struttura di analisi di un'entità complessa (come può essere una macchina, un impianto o un qualsiasi sistema), focalizzandosi su un attento studio delle sue componenti per valutarne i rischi e la natura.

Dopo la scomposizione gerarchica in sottogruppi appena descritta, l'altro principio cardine su cui si fonda la metodologia è rappresentato dalla definizione di uno studio di affidabilità, incentrato sulle possibili criticità di ogni componente ed andando a determina modo, causa, meccanismo ed effetto del guasto a quel livello.

In funzione di ciò, diventa di fondamentale importanza sottolineare come la scomposizione gerarchica segue un meccanismo di analisi funzionale, e non la consueta sequenza di montaggio come nel caso della distinta base.

La trattazione della metodologia FMECA sarà affrontata in questo elaborato seguendo dettagliatamente questi passi:

1. Illustrazione dei termini e delle definizioni d'uso
2. Rappresentazione dettagliata della prima fase di applicazione, coincidente con la scomposizione fino all'ultimo livello desiderato

3. Rappresentazione dettagliata della seconda fase di applicazione, coincidente con l'analisi di affidabilità al singolo livello
4. Sviluppo ed implementazione di azioni correttive e/o di quantificazione che possono essere definite a valle dell'analisi FMECA

Sebbene lo scopo, la terminologia e altri dettagli possono variare a seconda del tipo (ad esempio Process FMEA, Design FMEA, System FMEA, Product FMEA, FMECA, ecc.), la metodologia di base è simile per tutti.

I diversi passaggi logici per l'applicazione del metodo FMECA sono sintetizzati nella seguente (tabella 3) che si riferisce, per concretezza, all'utilizzo per la progettazione e realizzazione di un piano di manutenzione.

N. Fase	Descrizione Fase
1	Scomposizione entità nei sottoinsiemi principali e item componenti
2	Individuazione modi e cause di guasto potenzialmente associati
3	Individuazione degli effetti di guasto associati
4	Individuazione dei sintomi di guasto e delle modalità di rilevazione
5	Attribuzione dell'indice di criticità RPM
6	Individuazione degli interventi di manutenzione preventiva richiesti

TABELLA 2.3 - FASI DELLA METODOLOGIA FMECA PER LA PROGETTAZIONE DI UN NUOVO PIANO DI MANUTENZIONE

PRIMA FASE – SCOMPOSIZIONE IN ITEM

La prima fase di un'applicazione FMECA coincide con la scomposizione dell'entità, che è definita e indirizzata da due criteri differenti: il primo è direttamente riferito al rischio associato al guasto; al contrario, è proprio il supporto logistico della manutenzione a fare da linea guida al secondo criterio.

In primo luogo, si procede alla scomposizione della macchina/sistema che può avere un'alta frequenza di guasto e/o che risulta critica per gli effetti che può portare.

In previsione di ciò, si può definire il primo step del metodo come una fase incentrata all'identificazione di quelle funzioni del sistema più focali, in grado di andare a determinare i punti chiave del prodotto e del processo in analisi. Queste funzioni, in particolare, descrivono quello che il sistema ha il compito di svolgere e soprattutto il suo scopo previsto.

È facilmente intuibile quindi che, in uno studio funzionale di FMECA, si possono distinguere diversi livelli di scomposizione diverse.

Tipicamente:

- Primo livello, corrispondente all'entità in esame (macchina o stazione operativa)
- Secondo livello, in cui si individuano i gruppi funzionali dell'entità
- Terzo livello, in cui si individuano i sottoinsiemi preposti alle operazioni elementari necessarie alla operatività dei gruppi funzionali
- Quarto livello, in cui si individuano gli item componenti di ciascun sottoinsieme soggetti a guasto

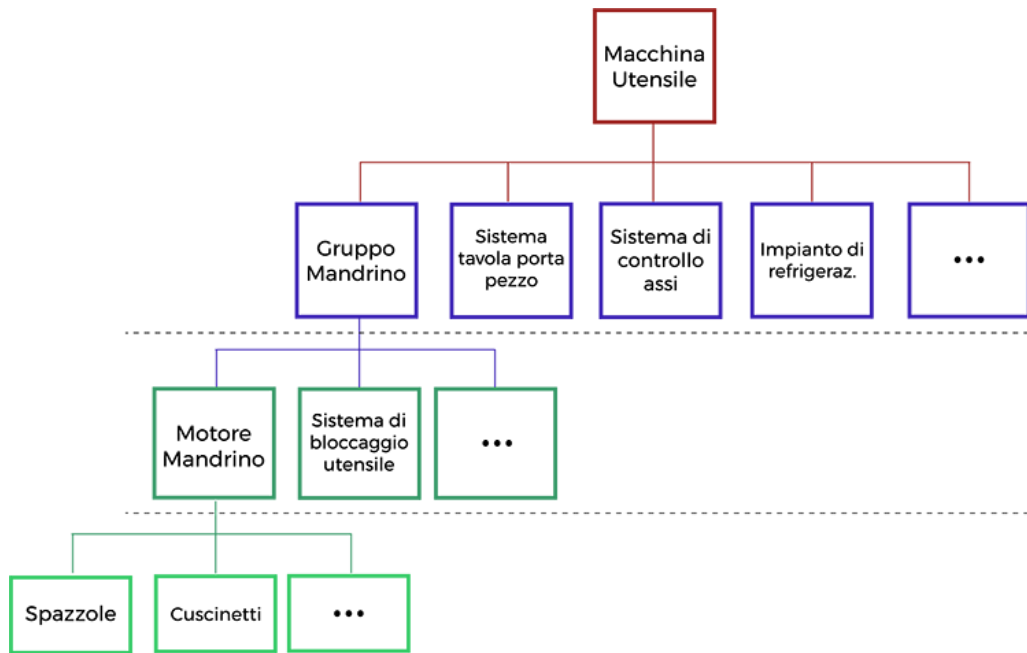


FIGURA 2.2 - SCOMPOSIZIONE FUNZIONALE TIPO DI UNA MACCHINA UTENSILE

L'immagine soprastante (*Figura 2*) rappresenta l'esempio di scomposizione di una macchina utensile a controllo numerico: il meccanismo di scomposizione è utile per focalizzare l'attenzione sui modi e sulle cause di guasto; inoltre riesce a dare un notevole supporto per definire con precisione quali possano essere gli effetti di un guasto. Avere un quadro completo e nitido attorno ad un guasto, è il primo fattore necessario per riuscire adottare contromisure efficaci e mirate.

Risulta però molto importante andare a delineare e definire quali siano quelle entità critiche e in quale livello sono posizionate, in modo da poter indirizzare quello successivo di scomposizione.

In particolare, nell'elaborato in questione, saranno applicate Analisi di Pareto, correlandole a parametri e costi di manutenzione. Saranno inoltre implementati alcuni indici di rischio, derivati sia dalla probabilità di accadimento ma anche dal numero di fermo linea/macchine che possono essere provocati dal guasto.

SECONDA FASE – DEFINIZIONE DI MODI E CAUSE

Come definito dalla norma MIL-STD.1629A, *i modi di guasto* descrivono il modo/meccanismo in cui si manifesta il guasto in un'entità e il suo impatto sul sistema. È prassi, dapprima, la stesura di un elenco di funzioni eseguite dall'entità; successivamente saranno individuati i modi di ciascuna, unitamente alle parti dove i guasti si originano.

Possono essere suddivisi in tre differenti categorie:

- Guasto totale: non funzionamento della componente
- Guasto parziale: componente degradata o parzialmente funzionante
- Guasto intermittente: funzionamento non corretto

Dall'individuazione dei modi di guasto, si passa all'individuazione del *meccanismo* e della *causa che*, d'altro canto, rappresentano l'origine determinante che spiega il guasto. Sono identificati, per ogni modo di guasto, i meccanismi e le cause più probabili.

La loro identificazione risulta decisamente essenziale per una progettazione dei piani manutentivi più efficiente possibile: per sua definizione, il piano nasce per eliminare o, tutt'al più, limitare meccanismi e cause di guasto.

La causa di guasto è articolabile nelle seguenti categorie:

1. Non adeguata progettazione
2. Non adeguata fabbricazione
3. Non adeguata installazione
4. Usura (fatica, invecchiamento, ...)
5. Utilizzazione scorretta (errata manovra)
6. Uso improprio (maltrattamento)

7. Errata manutenzione

Un guasto può essere determinato da più cause concorrenti. L'identificazione della causa di guasto è essenziale per una buona progettazione del piano di manutenzione: con una descrizione ambigua della causa di guasto, la proposta degli interventi di manutenzione da prevedere nel piano può essere irrimediabilmente fuorviata.

È pressoché necessario disporre di tutte le leve necessarie per assicurare una trasparente individuazione e descrizioni di meccanismi e di cause. Tra queste si possono elencare:

- Sviluppo di un catalogo per evitare ambiguità, grazie alla standardizzazione
- Modalità organizzativa, basata su un team work della FMECA

TERZA FASE: EFFETTI DI GUASTO

Per quanto concerne invece gli *effetti di guasto*, il degrado di funzionamento di un'entità può determinare conseguenze a soggetti differenti. Per descrivere un guasto, è necessario capirne le conseguenze, ovvero definire e quantificare quanto possa influire l'inagibilità della componente. Analizzando la criticità del guasto, si possono delineare:

1. Gli effetti di perdita:
 - Loss of production capacity: perdita funzioni operative dell'entità.
 - Loss of safety: perdita di sicurezza sulle persone o sull'ambiente.
 - Loss of efficiency: perdita di efficienza nell'esercizio dell'entità.
 - Loss of quality: realizzazione di prodotti di scarsa qualità.
2. Gli effetti di livello:
 - Effetto locale: livello locale della scomposizione della componente
 - Effetto superiore: livello immediatamente superiore a quello locale

- Effetto finale: livello più alto della scomposizione (sistema completo)

Nella tabella sottostante è illustrato un esempio (*tabella 4*) di un'analisi di guasti FMECA, relativa ad un recipiente di soda, dove sono definiti i modi di guasti, gli effetti e le cause.

Componente	Modo guasto	Effetto	Causa
Recipiente soda	Rottura supporti	Ribaltamento serbatoio	Dilatazione termica
			Urto meccanico
			Corrosione per contaminazione
			Corrosione per perdita di materiale
			Deformazione fondazioni
	Rottura recipiente	Perdita materiale	Dilatazione termica
			Urto meccanico
			Corrosione per contaminazione
			Corrosione per perdita di materiale
			Azione solare
	Rottura tubazioni	Perdita materiale	Colpo d'ariete
			Urto meccanico
			Azione solare
			Dilatazione termica
	Rottura valvole	Mancato dosaggio	Azione meccanica fluido
			Rottura guarnizioni
Rottura attuatore			
Eccessivi giochi meccanici			
Rottura impianto elettrico	Cortocircuito generale	Azione corrosiva fluido	
		Corrosione per contaminazione	
		Rottura comp. elettriche	

TABELLA 2.4 - ESEMPIO ANALISI DEI GUASTI RELATIVI AD UN RECIPIENTE DI SODA

QUARTA FASE: SINTOMI DI GUASTO

Risulta ora di fondamentale importanza, dopo aver stabilito i modi di guasto e le relative cause, definire i sintomi premonitori per ciascuna tipologia di guasto avvenuto. La determinazione dei sintomi appena descritti rappresenta il primo passo, necessario per giungere ad una valutazione efficiente per la pianificazione di programmi manutentivi.

Componente	Causa	Meccanismo	Sintomo	Rilevazione
Cuscinetti	Rottura	Surriscaldamento, rottura sfere	Surriscaldamento, rumore	Ispezione sensoriale
			Vibrazione	Analisi vibrazionale

TABELLA 2.5 – SINTOMI E METODI DI RILEVAZIONE

Il secondo step è un seguito automatico della specificazione dei sintomi di guasto precedentemente definiti: esplicitamente sono individuati i metodi di rilevazione del sintomo. Tra questi ultimi hanno maggior rilievo quelli supportati dagli strumenti impiantati sull'entità motivo di guasto, e l'installazione di particolari strumenti di rilevazione. Il quadro ben definito aiuta a delineare quali siano i punti focali da sistemare con lo scopo preciso di anticipare il guasto. In questa situazione il metodo di rilevazione può essere rappresentato da un'ispezione sensoriale eseguita durante il processo del sistema in attività.

È importante notare che questi sintomi e questi metodi di rilevazione non sono una prova definitiva per giungere all'origine del guasto e anticiparlo con sicurezza, ma possono indicare potenziali problemi che richiedono ulteriori indagini e diagnosi da parte di professionisti appropriati.

Sintomi	Metodi di rilevazioni
Perdita d'olio, rumore, surriscaldamento	Ispezioni sensoriali
Variazione di spessori, eccentricità	Ispezioni strumentate
Distribuzione della temperatura, frequenza vibrazioni	Monitoraggio diagnostico
Velocità rotazione motore	Controllo di processo
Difetti di saldatura	Test specialistici sui materiali

TABELLA 2.6 - ESEMPIO DI SINTOMI PREMONITORI E METODI DI RILEVAZIONE

QUINTA FASE: ANALISI DELLE CRITICITÀ, INDICE RPN

La quinta fase nel processo e nello sviluppo della metodologia FMECA è rappresentata dall'analisi delle criticità. La selezione delle entità critiche identifica per quali macchine del sistema i guasti debbano ritenersi critici per la sicurezza e/e per la capacità produttiva.

Lo scopo principale di questa fase, probabilmente ritenuta la più determinante per un'ottima riuscita del progetto, risulta quello di quantificare e valorizzare il rischio operativo di ciascun modo di guasto. Definire questo parametro implica l'assegnazione di un indice di criticità, detto anche indice di rischio, che può essere calcolato in modi differenti.

La selezione può essere sviluppata e integrata con due approcci differenti:

- Quantitativo di analisi (RPN, Pareto Chart)
- Qualitativo di analisi (Scale di classificazione, Criticality Matrix)

La prima versione è proposta da standard in ambito SAE (per esempio la pubblicazione SAEJ1739). Per la sua trattazione è necessario trovare dati dallo storico dei guasti e dalla Data Bank dell'entità. In caso di mancanza di storico, la stima nasce dall'esperienza e/o a partire da altre fonti (per

esempio i manuali del costruttore). La seconda, di carattere più qualitativo, si focalizza invece sulla documentazione MIL-STD-1629A di stampo militare. Questa, oltre ad una parziale analisi quantitativa simile all'indice RPN (utilizzo di due fattori, e non più tre), si concentra su una trattazione qualitativa, basata su team di esperti. Per utilizzare l'analisi della criticità qualitativa per valutare il rischio e dare priorità alle azioni correttive, il team di analisi deve:

- a. Valutare la gravità dei potenziali effetti del guasto;
- b. Valutare la probabilità che si verifichi per ogni potenziale modalità di guasto.

È quindi possibile confrontare le modalità di guasto tramite una matrice di criticità, che identifica la severity sull'asse orizzontale e l'occurrence sull'asse verticale.

Il primo approccio, identificato dalla versione proposta da SAE, l'indice di criticità è denominato, in inglese, *Risk Priority Number* ed è calcolato come il prodotto di tre fattori principali. Per definire il parametro di priorità del rischio (RPN), il team ha il compito di:

- Valutare la severità di ciascun effetto di guasto
- Valutare la probabilità di accadimento per ogni causa di guasto
- Valutare la probabilità di rilevamento preventivo per ciascuna causa di guasto

La formula per il calcolo è la seguente:

$$RPN \text{ (Risk Priority Number)} = O * S * D$$

Dove:

- O è il fattore che misura l'occurrence, cioè la probabilità di accadimento stimata per il guasto
- S è il fattore che misura la severity, cioè la severità (o gravità) degli effetti del guasto
- D è il fattore che misura la detectability, cioè la facilità con cui il guasto può essere rilevato in anticipo, mediante rilevazione del sintomo premonitore e/o la facilità con cui è rilevato a guasto avvenuto.

Ognuno di questi tre parametri è definito grazie all'applicazione di una propria scala di punteggio: il fattore è definito assegnando un punteggio superiore (in corrispondenza di numeri alti) ogni qualvolta si manifesta un peggioramento delle condizioni di rischio associate. Più è alto il numero assegnato e peggiore sarà la occurrence (frequenza di guasto maggiore), la severity (maggior gravità dell'effetto di guasto), la detectability (meno agevole diagnosticare in anticipo un guasto avvenuto). Se la probabilità di accadimento di un guasto è sicuramente un parametro prettamente quantitativo e concreto, basato esclusivamente dal numero di volte in cui si è verificato in un certo periodo di tempo, stessa cosa non si può dire per la severity e la detectability. Per questi ultimi due fattori, infatti, la scala può essere definita basandosi sull'utilizzo di altri fattori, come ad esempio quelli relativi all'affidabilità di manutenzione come il MTTR⁴. Questi indici incidono notevolmente sulla severity di un guasto, in quanto dichiarano quanto pesi l'effetto di un guasto sulla mancata erogazione di servizio e/o prodotto. Tanto maggiore è il MTTR, tanto maggiore sarà la severity. Nel momento in cui si affida al punteggio una

⁴ Indici di misura dell'affidabilità, descritti in seguito nel capitolo 2.3.1

valenza qualitativa, come nel caso della valutazione della detectability, si possono combinare diversi elementi, capaci di influire sulla veridicità del parametro: la presenza di un chiaro sintomo premonitore di guasto, la presenza di una certa possibilità di rilevarlo o meno, o ancora la capacità organizzativa di sfruttare campagne di rilievo.

CALCOLO PARAMETRI – Occurrence, Severity, Detectability

Come ripetutamente spiegato in precedenza, l'Occurrence è il parametro che attribuisce un valore quantitativo al calcolo dell'RPN. Si riferisce alla probabilità o alla frequenza di una particolare modalità di errore che si verifica all'interno di un sistema, prodotto o processo. Rappresenta la probabilità che si verifichi la modalità di errore ed è utilizzata per valutare il rischio potenziale associato. Questo parametro può essere calcolato in tre diversi modi, tutti relativi alla fonte SAE, e spiegati qui di seguito.

Nel primo caso (*colonna 1, tabella 7*), l'occurrence nasce dal confronto tra l'indice MTBF, ovvero il tempo medio che intercorre tra due guasti, e il tempo T richiesto dall'utente senza che accadano guasti. Più è alto il MTBF rispetto al tempo richiesto e più la votazione ranking affidato al parametro è inferiore. Questa sottintende che un'entità con frequenza di guasto bassa implica una minor incidenza sull'indice di rischio operativo RPN.

Il successivo metodo (*colonna 2, tabella 7*) riferibile al calcolo del parametro probabilistico è in funzione dell'affidabilità $R(T)$ al tempo T. In questo caso, però, risulta necessario assumere che MTBF sia uguale al tempo T richiesto dall'utente.

Dalla *tabella 7* seguente si può delineare che, quando MTBF è 2 volte il tempo T, allora la sua affidabilità R(T) è pari al 60%, decisamente più alta.

L'ultima scala atta alla valutazione del parametro Occurrence (*colonna 3, tabella 7*), si focalizza sulla quantità dei guasti registrati per ore di funzionamento: tanto più è alto il numero di ore di attività per l'accadimento di un guasto, e tanto più basso sarà il punteggio assegnato.

Affidabilità T richiesto	Affidabilità vita utile	Guasti per ora	Ranking
MTBF: 10% di T	R(T) < 1%	1 in 1	10
MTBF: 30% di T	R(T) = 5%	1 in 8	9
MTBF: 60% di T	R(T) = 20%	1 in 24	8
MTBF: pari a T	R(T) = 37%	1 in 80	7
MTBF: 2 volte T	R(T) = 60%	1 in 350	6
MTBF: 4 volte T	R(T) = 78%	1 in 1000	5
MTBF: 6 volte T	R(T) = 85%	1 in 2500	4
MTBF: 10 volte T	R(T) = 90%	1 in 5000	3
MTBF: 20 volte T	R(T) = 95%	1 in 10000	2
MTBF: 50 volte T	R(T) = 98%	1 in 25000	1

TABELLA 2.7 – OCCURRENCE O, TIPO SAE

L'occurrence può essere parametrizzata, valutando ed analizzando diversi fattori, come ad esempio:

- Dati storici: la disponibilità di dati relativi a guasti passati o informazioni sull'affidabilità che indicano la frequenza di accadimento per modalità di guasto simili.
- Fattori di progettazione: la suscettibilità del sistema, del prodotto o del processo alla specifica modalità di guasto dovuta alle sue caratteristiche di progettazione o ai componenti coinvolti.

- Variabilità di produzione o di processo: il potenziale di errori, variazioni o difetti durante le fasi di produzione o di processo che potrebbero contribuire al verificarsi della modalità di guasto.
- Fattori ambientali: l'influenza delle condizioni ambientali, come temperatura, umidità, vibrazioni o contaminanti, sulla probabilità che si verifichi la modalità di guasto.
- Pratiche di manutenzione: l'impatto delle attività di manutenzione, inclusi ispezione, assistenza o sostituzione di componenti, sul verificarsi della modalità di guasto.

Il secondo indicatore che incorre nel calcolo dell'indice di rischio RPN è rappresentato dalla scala di severity, espressa nella *tabella 8*. La severità di un guasto può nascere da fattori di diversa natura, da cui ne consegue direttamente una gravità di effetti di guasto sull'entità in oggetto. Tra queste, incidono maggiormente gli effetti di mancata sicurezza, di mancata produttività, mancata efficienza e qualità, tempo impiegato per effettuare regolazione ed altri controlli di processo. Più è alto il punteggio e più il guasto è severo. Un guasto in cui la qualità del prodotto non subisce variazioni implica che il processo produttivo non soffre gli effetti della criticità, e di conseguenza il punteggio associato sarà tendente a 1.

Qualora il processo non riuscisse a mantenere i propri parametri nei limiti inficiando la qualità e la produzione del prodotto, allora il guasto rende l'entità inutilizzabile creando un rischio per gli operatori e potenzialmente anche un rischio ambientale.

Effetto	Severità dell'effetto	Ranking
Hazardous - without warning	Livello di gravità molto elevato – Influisce sull'operatore, sul personale di impianto o di manutenzione, sulla sicurezza e/o sulla non conformità alle normative governative, senza preavviso	10
Hazardous - with warning	Classificazione di gravità elevata – Colpisce il personale di operatore, impianto o manutenzione, la sicurezza e/o influisce sulla non conformità alle normative governative, con avviso	9
Very High	Tempi di fermo di oltre 8 ore o produzione di parti difettose per più di 4 ore	8
High	Tempi di fermo tra 4 e 8 ore o produzione di parti difettose per più di 4 ore	7
Moderate	Tempi di fermo tra 1 e 4 ore o produzione di parti difettose tra 1 e 2 ore	6
Low	Tempi di fermo tra 30 minuti e 1 ora o produzione di parti difettose fino a 1 ora	5
Very Low	Tempi di fermo tra 10 e 30 minuti ma nessuna produzione di parti difettose	4
Minor	Tempi di fermo fino a dieci minuti ma nessuna produzione di parti difettose	3
Very Minor	Variabilità dei parametri di processo non entro i limiti delle specifiche, Durante la produzione è necessario effettuare regolazioni o altri controlli di processo. Nessun fermo macchina e nessuna produzione di parti difettose	2
None	Variabilità dei parametri di processo entro i limiti delle specifiche. La regolazione o altri controlli di processo possono essere eseguiti durante la manutenzione della norma	1

TABELLA 2.8 - SCALA DI SEVERITY S (FONTE SAE)

La severity può essere calcolata considerando i seguenti criteri:

- Implicazioni sulla sicurezza: il livello di rischio che implicitamente intacca la sicurezza umana e quella ambientale.
- Prestazioni del sistema: l'impatto sulle prestazioni complessive, sulla funzionalità o sull'affidabilità del sistema o del prodotto.
- Impatto sul cliente: l'effetto sulla soddisfazione del cliente, sull'usabilità o sulla percezione del sistema o del prodotto.

- Impatto economico: le potenziali conseguenze finanziarie derivanti dal guasto, come i costi di riparazione, i tempi di inattività o la perdita di produzione.
- Conformità alle normative: l'impatto sulla conformità alle normative, agli standard o ai requisiti legali applicabili.

Quando si esegue un FMECA, la *detectability* delle modalità di guasto è generalmente valutata con un punteggio in base alla probabilità di rilevamento (*tabella 9*). Questa valutazione aiuta a stabilire la priorità delle misure di mitigazione o preventive per le modalità di errore identificate.

Il grado di rilevabilità è spesso determinato considerando fattori quali:

- Sistemi di monitoraggio: la presenza di sensori, allarmi
- Intervento umano: identificare il guasto attraverso ispezioni visive
- Strumenti diagnostici: la disponibilità di tecniche diagnostici.
- Ridondanza e sistemi di backup: la presenza di sistemi di backup che possono subentrare, migliorando le possibilità di rilevamento.

Definita la parametrizzazione e affidato un valore per ogni scala di fattori, il passo successivo implica il calcolo per quantificare l'indice di criticità RPN per ciascun guasto. Andando a valutare la misura dell'indice, si procede a classificare quest'ultimo in ordine decrescente, con la finalità di individuare e studiare i diversi guasti caratterizzati da un RPN maggiore.

SESTA FASE: PIANIFICAZIONE PROGRAMMI MANUTENTIVI

La sesta ed ultima fase rappresenta un ultimo passaggio propositivo dello studio FMECA, e si focalizza sull'individuare e pianificare precise azioni correttive per ridurre la criticità sul sistema, a valle dell'analisi appena descritta. Così sono definite le correzioni manutentive per limitare ogni difetto di processo o di prodotto, e prevenire ogni causa studiata in precedenza.

Le azioni correttive sono, in genere, di diversa natura e comprendono modifiche di progetto, di processo e dei materiali utilizzati. I programmi manutentivi in questione possono riguardare diverse tipologie e diversi tipi di interventi, tra cui:

- Piccole modifiche per le procedure ed interventi di manutenzione attualmente in programma, con provvedimenti a carattere non periodico di manutenzione migliorativa;
- Altre modifiche ai programmi di manutenzione già in uso e applicati ai macchinari, ma con revisioni periodiche di manutenzione corrente;
- Miglioramenti e/o modifiche alla gestione della lista ricambi di manutenzione, con modifiche delle politiche di gestione scorte.

Tra tutte le azioni da applicare al sistema, è necessario considerare quegli accorgimenti per apportare modifiche al portfolio di progetti, ai processi o ai macchinari, o addirittura all'impianto.

In considerazione di ciò, un'ipotesi di una possibile modifica di impianto è quella conseguente ad una scarsa affidabilità di un sottoinsieme e con la successiva decisione di aumentarne il livello di back-up (ridondanza). È auspicabile effettuare in tal senso un'analisi economica e tecnica più

approfondita, in quanto certe azioni correttive superano i limiti di budget e di progettazione definiti.

Complessivamente, dallo studio FMECA si possono evincere due azioni correttive in particolare, e di natura diversa:

1. Modifiche della politica di gestione ricambi, con l'inserimento di un nuovo materiale a scorta
2. Revisione del piano di manutenzione corrente, con l'introduzione di una nuova procedura di ispezione

Si può concludere affermando che il risultato finale della metodologia analizzata in questo capitolo è rappresentato dall'implementazione di un piano manutentivo: mediante l'identificazione dei componenti critici del sistema, si giunge allo sviluppo di una nuova gestione manutentiva (preventiva/predittiva) necessaria per abbattere la criticità, oppure ad una revisione alla gestione ricambi per ridurre i tempi di fermata e l'inefficienza del processo.

2.1.4. TEAMWORK. Organizzazione di un'analisi

Con lo scopo univoco di sviluppare al meglio la metodologia in questione, è appropriato adottare alcuni canoni organizzativi per giungere all'obiettivo finale.

La caratteristica principale che deve elevarsi in tal senso è sicuramente l'interdisciplinarietà del team work: è opportuno che sia costituito da caratteri quali professionalità, competenze tecniche ed esperienza personale. Perdi più, è un plus che siano coinvolte le seguenti figure professionali interne:

- Responsabile di manutenzione

- Addetti di manutenzione
- Ingegneri di processo e impianto

È conveniente, inoltre, selezionare all'interno del team un leader carismatico, responsabile della gestione dei task, delle deadline e di stabilire un iter metodologico. In molti stabilimenti e aziende medio-piccole è molto raro disporre di uno storico guasti efficiente ed esauriente: in tal senso il ruolo del team diventa di grande rilevanza, ricorrendo all'esperienza per ridurre le lacune già presenti. È d'altronde evidente che un sistema informativo aziendale fornisca un registro di dati sufficiente da poter analizzare e da cui poter trarre conclusioni e risultati.

Dopo la formazione del team, si gestiscono le principali milestones attraverso una serie di riunioni, per focalizzarsi sui punti chiave da considerare e da approfondire. Il criterio generale non prevede un'organizzazione una tantum: le riunioni tecniche dovrebbero essere programmate con cadenza periodica, utili anche al controllo delle prestazioni raggiunte a seguito di azioni correttive, secondo la filosofia del miglioramento continuo.

2.1.5. CONCLUSIONI. Pro e contro della metodologia

La metodologia FMECA presenta diversi vantaggi e svantaggi. Tra i principali, si identificano i seguenti:

- Identificazione precoce dei guasti: in una fase iniziale questo rilevamento precoce consente di implementare misure proattive per prevenire o mitigare i guasti
- Prioritizzazione del rischio: fornisce un approccio sistematico per valutare indici specifici, consentendo di allocare risorse e sforzi ai rischi più significativi. Questi potrebbero influire sulla sicurezza, sulle prestazioni o sull'affidabilità.
- Processo decisionale potenziato: fornisce un quadro strutturato per l'analisi e la valutazione delle modalità di errore. Ciò porta a migliori scelte progettuali, alla selezione di materiali e componenti adeguati.
- Collaborazione inter-funzionale: incoraggia la collaborazione tra esperti di varie discipline nel processo di analisi. Questo approccio collaborativo favorisce la condivisione delle conoscenze, consente una prospettiva più ampia e facilita una valutazione completa.

Tuttavia, lo studio si contraddistingue per alcuni svantaggi, tra i quali:

- Requisiti dei dati: l'analisi si basa su dati accurati e affidabili. Ottenere questi dati può essere difficile, soprattutto per sistemi nuovi o complessi.
- Soggettività e presupposti: formulazione di presupposti e giudizi soggettivi durante la valutazione degli indici. Queste sono assegnate in base a conoscenze specialistiche, esperienza e dati disponibili, introducendo variabilità e soggettività.

- Tempo e risorse dispendiose: può richiedere molto tempo e risorse. Richiede uno sforzo significativo per identificare le modalità di guasto, valutarne gli effetti, assegnare valutazioni, calcolare RPN e sviluppare azioni correttive appropriate.
- Mancanza di analisi dinamica: Fornisce un'istantanea statica di potenziali guasti in un determinato momento. Tuttavia, man mano che i sistemi si evolvono e cambiano possono emergere nuove modalità di guasto e quelle esistenti possono diventare meno critiche. FMECA non affronta i cambiamenti dinamici né tiene conto dei rischi in evoluzione.
- Ambito limitato: sebbene fornisca preziose informazioni sui potenziali guasti, potrebbe non affrontare tutti gli aspetti della gestione del rischio, come i fattori umani, le considerazioni ambientali e le influenze esterne.

Nonostante questi svantaggi, FMECA rimane una metodologia ampiamente utilizzata e preziosa per l'analisi e la gestione dei guasti in vari settori. Aiuta a migliorare la progettazione, l'affidabilità e la sicurezza del sistema affrontando sistematicamente le potenziali modalità di guasto e le relative conseguenze.

2.2. MANUTENZIONE – *Principi generali di gestione*

2.2.1 AFFIDABILITA'. Indici di misura e fondamenti

L'affidabilità di manutenzione, nota anche con il nome di affidabilità di servizio, è un parametro relativo alla capacità di un'entità o di un componente di eseguire le proprie mansioni in maniera del tutto affidabile e senza guasti post operazioni manutentive. Risulta necessario definire una preliminare distinzione in base ad una particolare caratteristica dell'entità, ovvero la riparabilità.

Un'entità è definita riparabile nel momento in cui può essere riportata alla sua originale funzionalità, tramite un intervento di manutenzione. Al contrario, può definirsi non riparabile se, a seguito del guasto non può più tornare nella condizione di normale funzionamento.

MTBF - MEAN TIME BETWEEN FAILURE

Il tempo medio tra i guasti (MTBF) è una metrica di affidabilità utilizzata per stimare il tempo medio tra i guasti di un sistema, componente o dispositivo. Di solito è espresso in ore ed è una misura dell'affidabilità o della disponibilità prevista di un prodotto. Fornisce un'indicazione dell'affidabilità di un sistema e aiuta a valutare le esigenze di manutenzione, i periodi di garanzia e la qualità complessiva del prodotto.

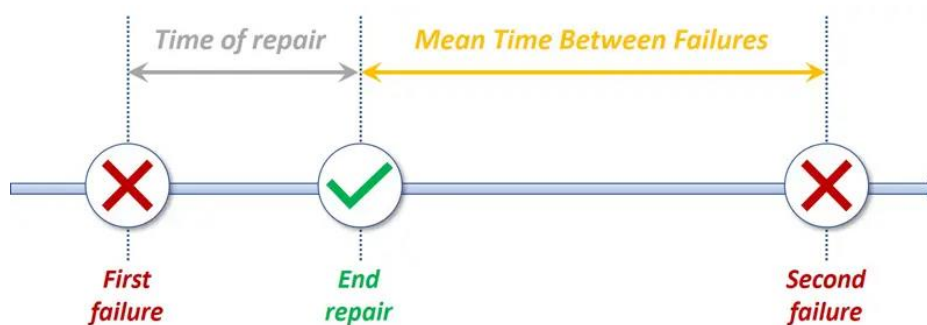


FIGURA 2.3 - EVENTI PER IL CALCOLO DI MTBF

È calcolato inoltre dividendo il tempo totale di funzionamento di un sistema per il numero di guasti che si sono verificati durante quel periodo. La formula per MTBF è la seguente:

$$MTBF = \frac{\text{Tempo di funzionamento totale}}{\text{Numero di guasti}}$$

È importante notare che l'MTBF è una stima basata su dati storici e presuppone che i guasti seguano una distribuzione casuale. Non garantisce che un sistema funzionerà in modo impeccabile per la durata MTBF calcolata, ma fornisce una misura statistica dell'affidabilità.

MDT - MEAN DOWN TIME

Un aspetto rilevante da tenere in considerazione è sicuramente quello di valorizzare quantitativamente, e anche a livello economico, l'effetto di fermo. Un indicatore cardine che misura il tempo di fermo è dato dal Mean Down Time (MDT). I guasti definiti focali e più critici avranno una probabilità maggiore di accadimento, implicando perciò un più elevato fermo impianto. Sia in condizioni di intervento a guasto che di intervento preventivo, esso tiene conto dei ritardi amministrativi e logistici.

Il tempo medio di inattività (MDT), noto anche come tempo medio di riparazione (MTTR), si riferisce al tempo medio necessario per riparare un'entità o una componente dopo che ha subito un guasto.

A livello numerico, l'MDT è calcolato a partire dal tempo di inattività per tutti i guasti avvenuti in un determinato lasso di tempo e rapportandolo al numero totale di incidenti. La formula è la seguente:

$$MDT = \frac{\text{Tempo di inattività totale}}{\text{Numero di incidenti}}$$

Il parametro in questione definisce quantitativamente le condizioni di ripristino delle funzionalità: un MDT con valori bassi generalmente implica un'affidabilità del sistema migliore e tempi di messa in opera rapidi.

2.3.2. POLITICHE. Dall'obiettivo alle tre tipologie

Al giorno d'oggi, in un contesto aziendale focalizzato a mantenere un adeguato livello di competitività sul mercato, la manutenzione degli impianti acquisisce un ruolo sempre più strategico. Questo permette di:

- Ridurre i costi di conduzione
- Aumentare la produttività degli impianti
- Aumentare la qualità del prodotto finale
- Migliorare la sicurezza

Una coerente e ben studiata organizzazione di manutenzione rappresenta il primo passo necessario a raggiungere gli obiettivi strategici relativi alla disponibilità e al costo di manutenzione. Lo scopo è quindi dato da una definizione progettuale, ripercorrendo un iter che porta a identificare razionalmente una gestione congrua.



FIGURA 2.4 - ALBERO DELLE POLITICHE DI MANUTENZIONE

In breve,⁵:

1. Manutenzione correttiva o a guasto: chiamata anche Manutenzione Basata sulla Rottura (MBR), avviene a seguito della rilevazione di un'avaria e può comportare la sostituzione totale o anche il ripristino allo stato operativo. Si tratta perciò di un approccio passivo, volto ad aspettare l'attesa del guasto e concentrarsi sulla riparazione.

2. Manutenzione preventiva: rappresenta quella costituita da attività ripetute nel tempo, ad intervalli prefissati o in linea con quando definiti dai manuali del prodotto. Mira alla riduzione del livello probabilistico di guasto e/o della degradazione di funzionamento del bene.

In base al tipo di attività ripetuta, la preventiva si può articolare in:

- a. Preventiva Ciclica. Chiamata anche Manutenzione Basata sul Tempo (MBT), è un'attività programmata in base ad un piano temporale prestabilito, rispetto al tempo di vita residuo di una macchina, individuato tramite efficienti strumenti di diagnostica.
- b. Preventiva su condizione. La Manutenzione Basata sulla Condizione (MBC) è eseguita subordinatamente al raggiungimento di un valore limite: agisce in seguito all'identificazione e della misura di uno o più indici e del tempo residuo atteso prima del guasto.

3. Manutenzione migliorativa. Definita anche Manutenzione Basata sul Miglioramento (MBM), essa racchiude tutte le azioni finalizzate al miglioramento della macchina/entità e ad una più alta affidabilità. Questo si raggiunge tramite l'eliminazione delle cause sistematiche di guasto e con la riduzione delle probabilità di comparsa di altri guasti.

⁵ I diversi tipi di manutenzione sono riconosciuti dalla norma UNI 10147

MANUTENZIONE CORRETTIVA O A GUASTO (MBR)

La manutenzione correttiva, basata sulla rottura e definita anche come Run-To-Failure, è classificata come manutenzione reattiva.

Rappresenta la modalità più semplice e antiquata nel campo di gestione degli asset, occupandosi cioè di intervenire su un impianto soltanto dopo che si è verificata la rottura o il guasto.

Analizzando un registro storico di dati relativi ad un preciso macchinario, si evidenzieranno solamente interventi a guasto, dato che non si sostituisce nessun componente fin quando questo non è giunto a rottura. Questo accade solamente nell'ipotesi che si stia applicando una politica esclusivamente di manutenzione correttiva.

Scegliere una manutenzione correttiva comporta vantaggi e svantaggi operativi.

VANTAGGI	SVANTAGGI
Consente di evitare costi propri di manutenzione: si sfrutta la vita dell'elemento fino al massimo della sua vita utile	Guasto accade accidentalmente, senza alcun preavviso, con problemi di sicurezza
	Se il tasso di guasto è elevato, l'intervento diventa troppo frequente
Consente di avere un'organizzazione più semplice, essendo questa limitata alle squadre di pronto intervento	Il personale addetto deve essere dotato di conoscenze multidisciplinari e di abilità precise
	Guasto determina una tendenza al sovradimensionamento dei ricambi
	Devono essere previste unità in stand-by

TABELLA 2.9 – VANTAGGI E SVANTAGGI PRINCIPALI DELLA MANUTENZIONE CORRETTIVA

MANUTENZIONE PREVENTIVA CICLICA (MBT)

Questa tipologia di politica manutentiva si concentra sulla sostituzione programmata di un certo componente non ancora giunto a rottura, con lo scopo di prevenire il cedimento accidentale. Operando in tal modo si sacrifica una quota parte di vita utili della componente, per evitare successive perdite di affidabilità ed efficienza.

È fondamentale in tal senso coordinare il responsabile macchina e il manutentore per definire un programma esaustivo di attività, atte sia al controllo manutentivo che al rispetto dei vincoli di capacità di produzione richiesta. Per l'attività manutentiva in esame sono definite due modalità principali di attuazione:

- a data costante, ovvero definire un intervallo costante di tempo tra una preventiva e la successiva;
- a età costante, con la sostituzione una volta raggiunte un certo numero di ore di utilizzo.

Per programmare al meglio gli interventi ciclici da attuare alle linee di produzione, sono utili alcuni prerequisiti organizzativi, tra cui:

- Fondamentale un intervallo di manutenzione basato su una conoscenza statistica (legge di affidabilità);
- Controllata calendarizzazione delle attività cicliche, tramite l'utilizzo di un adeguato sistema informativo a supporto della programmazione e del planning di attività in essere;
- Gestione di ricambi gestita e coordinata, mediamente pianificazione degli approvvigionamenti dei materiali necessari

- Preparazione formativa al personale di manutenzione, sia a livello tecnico ma anche a livello gestionale di tempo e risorse.

Anche in questo caso, optare per questo tipo di attività manutentiva, comporta dei pro e dei contro.

VANTAGGI	SVANTAGGI
Limita i costi delle perdite accidentali a seguito di guasto critico	Rischio di aumentare alcuni guasti per interventi non eseguiti a regola
Facile da programmare e controllare	Programmazione di interventi non necessari, con aumento di costi e diminuzione di disponibilità
Programmare al meglio l'utilizzo dei team manutentivi	
Ottimizzare scorte di materiali	Poca preparazione del team manutentivo per guasti che accadono con la preventiva
Riduzione dei tempi di fermo impianto rispetto alla correttiva	
Riduzione dei costi rispetto alla correttiva	Difficilmente applicabile nei moderni e complessi macchinari

TABELLA 2.10 – VANTAGGI E SVANTAGGI PRINCIPALI DELLA MANUTENZIONE PREVENTIVA

A discapito della correttiva, la manutenzione ciclica rappresenta una opzione conveniente se applicata su macchinari critici; i costi indicativi di tale tipologia sono attribuibili agli interventi veri e propri, ma soprattutto sono indotti dalle perdite di sicurezza e di servizio.

MANUTENZIONE SU CONDIZIONE E PREDITTIVA (MBC)

Verificata e messa in atto nel momento di degrado misurato di un componente, il parametro che indica tale deterioramento dipende dal livello predeterminato di sofisticazione strumentale e specialistica.

In generale, il principio fondante di questa politica è quello di non intervenire in alcun modo fintanto che le condizioni operative del sistema rimangono stazionarie e non in allerta. È così necessario effettuare controlli periodici con una più alta frequenza, con lo scopo di tenere monitorato il degrado e anticipare così una potenziale sua accelerazione.

Il controllo sopra descritto è conseguito per due motivi massimi: in primis, con lo scopo di avviare le azioni manutentive una volta superato il limite prestabilito di degrado; in secondo luogo, risulta molto utile per predire un'ottimale programmazione della manutenzione.

Tra i principali approcci di manutenzione su condizione, l'ispezione sensoriale rappresenta la prima leva per introdurre operativamente una manutenzione di questo tipo. È utile indirizzare il personale addetto alla suddetta ispezione e alla segnalazione di determinati sintomi premonitori di degrado. Il superamento di un valore prestabilito rappresenta la condizione di non accettazione dello stato di integrità del materiale, e di conseguente avvio delle contromisure necessarie a gestire e superare il guasto.

Scegliere in definitiva la politica su condizione rappresenta una valida alternativa alla manutenzione correttiva, nel caso in cui l'entità è in fase di vita utile. Il controllo consente di poter avviare la manutenzione a seguito dell'avvenuto superamento di un limite, e inoltre di poter predire quando effettuare un intervento programmato di manutenzione, avendo una stima della tendenza di degrado del segnale nel tempo.

Ma che differenza intercorre tra manutenzione su condizione e predittiva? La linea di separazione è sottile: nel primo caso il momento ottimale dell'intervento coincide con il superamento della soglia di allarme, assicurando un margine sufficiente per non giungere ad un guasto.

Nel secondo caso, usufruendo di uno storico dati adeguato, si applica un metodo statistico che genera due curve di previsione; a partire da queste si traccia una curva intermedio di previsione di lungo periodo corretta con quella di breve (figura 5).

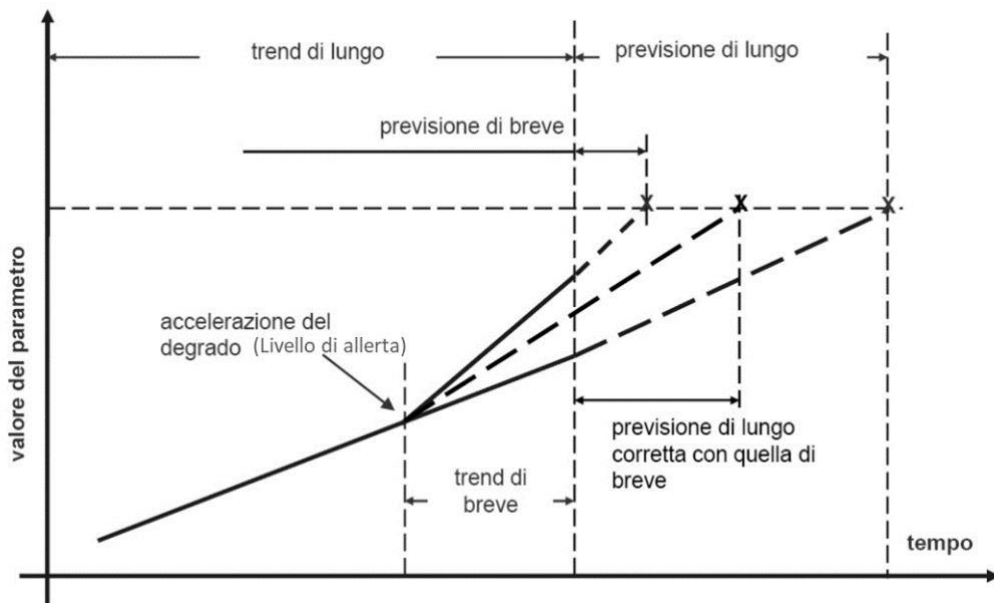


FIGURA 2.5 - MANUTENZIONE PREDITTIVA DEL DETERIORAMENTO DI UN BENE

Concentrare l'attenzione dell'area manutentiva sull'ispezione, sul controllo e sul monitoring delle macchine di linea comporta e promette i migliori margini di miglioramento in termini di efficienza e riduzione dei costi totali. Consente inoltre di programmare in modo esclusivo le operazioni richieste in base allo stato di deterioramento di un bene, evitando così di programmare attività per evitare rotture troppo anticipate, come nel caso della manutenzione preventiva ciclica.

Scegliere una politica su condizione comporta vantaggi e svantaggi operativi.

<i>VANTAGGI</i>	<i>SVANTAGGI</i>
Diminuzione dei guasti in numero e tempo	Richiede alti costi di investimento per la sua implementazione
Miglioramento della disponibilità e sicurezza dei macchinari	Necessario un periodo di tempo per sviluppare il trend dei segnali misurati e individuare le soglie di allarme
Miglior qualità e controllo delle attività di manutenzione con riduzione dei costi rispetto alla preventiva ciclica	
Accumulo e trasferimento di conoscenze manutentive	Organizzazione più complessa, con persone altamente qualificate e un elevato fabbisogno tecnico
Ulteriori opportunità di miglioramento della gestione, ottimizzando scorte di materiali e di risorse	
Molto efficace quando il tasso di guasto è costante (guasti aleatori); applicabile al 90% dei moderni macchinari	Costo di introduzione della MBC è elevato e pari circa al 5% del valore dei beni da sorvegliare

TABELLA 2.11 – VANTAGGI E SVANTAGGI PRINCIPALI DELLA MANUTENZIONE SU CONDIZIONE

MANUTENZIONE MIGLIORATIVA (MBM)

Questo tipo di attività manutentiva rappresenta un metodo mirato al miglioramento dell'affidabilità e della manutenibilità dei macchinari: gli interventi di manutenzione migliorativa sono definiti e inizializzati a partire dall'individuazione delle cause originarie dei guasti.

Le principali attività in cui si implementa questo metodo consistono in:

- apportare modifiche per una migliore ispezione visiva;
- migliorare sottoinsieme avendo individuato la causa di guasto;
- migliorare disegno di elementi con scarsa manutenibilità.

CAPITOLO TRE

IMPLEMENTAZIONE METODO FMECA E STUDIO DI AFFIDABILITA' DELLA LINEA

3.1 FMECA – Implementazione del metodo e valutazione delle criticità

3.1.1. ANALISI GUASTI - Metodo di lavoro ed assumptions

Il metodo di lavoro utilizzato in questo progetto nasce da un'approfondita e accurata analisi dei guasti avvenuti sulla linea di produzione presa in esame. Al fine di definire al meglio questa fase di Data

Cleaning, si è rivelato di fondamentale importanza partire da uno storico di guasti ben strutturato e ricco di informazioni utili.

Nel definire e tracciare le attività di manutenzione (e non solo), l'azienda usufruisce di un comune software gestionale, denominato SAP. Quest'ultimo è presentato come un ERP, ovvero un Enterprise Resource Planning, in grado di gestire ed integrare i processi manutentivi e produttivi relativi ai macchinari installati sulle linee di produzione.

Include diverse transazioni e, mediante queste, permette agli operatori di linea di tenere traccia degli interventi effettuati, che siano manutentivi, gestionali o contabili. Aiuta così a poter gestire al meglio le ispezioni, le riparazioni e tutte le attività preventive.

L'utilizzo di tale risorsa è stato fondamentale nell'inizializzazione del metodo FMECA, poiché ha permesso di andare a definire la numerosità dei guasti, le cause, gli effetti ed i tempi di inattività delle apparecchiature.

Uno degli aspetti negativi del metodo, come descritto in precedenza, coincide con l'imprecisione e/o la mancanza di dati sufficientemente esaustivi, al fine di definire un database utile al raggiungimento dell'obiettivo.

Per queste ragioni, il processo di Data Cleaning può essere definito in diverse fasi, analizzate individualmente:

1. Determinazione di una distinta base specifica, relativa ai macchinari installati in linea
2. Suddivisione in macro-aree delle principali apparecchiature
3. Ricerca tramite software SAP degli interventi a guasto degli ultimi 4 anni, dal 2019 al 2023, per ogni macchinario
4. Selezione approssimativa dei guasti, che possono essere stati provocati da errori umani, e non per obsolescenza e/o usura.

Per definire una vera e propria distinta base, è risultato necessario effettuare la cosiddetta Walk Through: questo processo è di fondamentale importanza per i manager di azienda per visionare direttamente sul campo gli ambienti produttivi, identificando sia le macro-aree sui cui verte la linea di produzione, sia i punti di miglioramento o di criticità.

In particolare, questa fase ha permesso di definire i reparti principali distinguibili, tra cui:

1. Impastatrice. Include i filtri, i polmoni, l'approvvigionamento delle materie prime (sfarinati e liquidi), la fase di premix e l'impastatrice vera e propria per la realizzazione dell'impasto.
2. Formatura. Ne fanno parte la rotativa, per lo stampaggio dei biscotti, e i nastri di trasporto che conducono il prodotto ancora crudo in entrata forno.
3. Cottura. La fase di cottura, una tra le più delicate del processo di produzione, include il forno, i nastri in uscita, e il sistema di visione.
4. Confezionamento. L'isola in questione include il macchinario per l'impacchettamento dei biscotti, le bilance per la pesatura, ed i controlli in uscita.
5. Incassamento. L'ultima fase prevede il posizionamento dei pacchetti ritenuti idonei all'interno di casse di cartone, precedentemente formate, e il successivo posizionamento sul pallet.

Di seguito, è rappresentata la distinta base relativa alla linea presa in esame, in cui le colonne indicano:

- Colonna 1: Descrizione cespite, ovvero il nome della macchina;
- Colonna 2: Etichetta, il numero identificativo della macchina;
- Colonna 3: Equipment, numero relativo al macchinario su cui sono caricati gli ordini e le attività manutentive (guasti inclusi).

Descrizione Cespite	Etichetta	Equipment
IMPASTATRICE		
Filtro Zucchero cristallino	13910	10009472
Filtro Farina	13909	10009468
Filtro Latte in polvere	13907	10009476
Filtro Amido	13906	10009470
Filtro Zucchero a velo	13905	10009469
Filtro Cacao	11515	10009479
Distribuzione nocciola	11590	10009119
Impastatrice Vicars	10564	10009580
Serbatoio Premix per Vicars	10568	10010330
Nastro in uscita Vicars	104643	10009810
FORMATURA		
Cappa spruzzatrice acqua	14117	10042586
Rotativa	104639	10010194
Impianto di doratura	10587	10009604
Zuccheratore	104640	10010612
COTTURA		
Forno di cottura	10594	10009517
Metaldetector uscita forno	13705	10009727
Sistema di visione	13403	10010421
Impianto di lavaggio rete	12545	10009607
UPS - Gruppo continuità	104754	10010760
CONFEZIONE		
Bilancia	13627	10010255
Datario	14099	10072579
Impacchettatrice SIG	10703	10009577
Pesatrice	14145	10009859
X-Ray	13775	10054863
INCASSAMENTO		
Apricartoni	10711	10008974
Incassatrice	104673	10009632
Marcatore Casse	14113	10009380
Nastratrice	13123	10009748
Ribaltatore	10718	10010166

TABELLA 3.1 – DISTINTA BASE LINEA 11

Per ogni tipologia di attività manutentiva effettuata su un definito macchinario, rimane compito dell'operatore di manutenzione completare un modulo implementato in SAP, per comunicare in maniera più precisa possibile ogni dettaglio relativo alle azioni compiute.

Questa tecnica permette così di formalizzare ogni *failure mode*, annettendo le possibili cause che l'hanno provocato, ma anche i possibili effetti provocati sulla macchina o sulla linea. Questo non sempre è possibile, dal momento che le informazioni relative alla tipologia di guasto avvenuto non sono obbligatoriamente descritte all'interno del modulo compilato, e a volte sono del tutto assenti.

Nonostante ciò, è stato possibile definire quantomeno la numerosità di ogni guasto per macchina.

Inserendo il numero di equipment per il tempo di analisi stabilito è stato possibile andare ad identificare il numero di manutenzioni a guasto relative a quel macchinario.

All'interno dell'ordine di manutenzione (OdM) sono anche incluse altre informazioni risultanti molto utili per lo svolgimento di tale progetto.

Tra le più importanti, si trovano:

- Guasto che implica un fermo linea
- Tempo di lavoro per la riparazione della componente
- Costo della manodopera richiesta per la riparazione
- Costo di eventuali componenti da sostituire in caso di rottura e/o usura eccessiva
- Inizio e fine dell'attività manutentiva

A livello operativo sono stati inseriti, attraverso canali di ricerca, i codici identificativi dell'equipment, filtrati per tipologia di macro area; il risultato

ottenuto è stato una lista di ordini di manutenzione relativi ad altrettanti guasti. Nello specifico sono stati definiti, per ogni settore, i seguenti guasti.

- IMPASTATRICE: 228 guasti, di cui 15 hanno fermato la linea
- FORMATURA: 102 guasti, di cui 32 hanno fermato la linea
- COTTURA: 119 guasti, di cui 9 hanno fermato la linea
- CONFEZIONAMENTO: 397 guasti, di cui 38 hanno fermato la linea
- INCASSAMENTO: 377 guasti, di cui 12 hanno fermato la linea

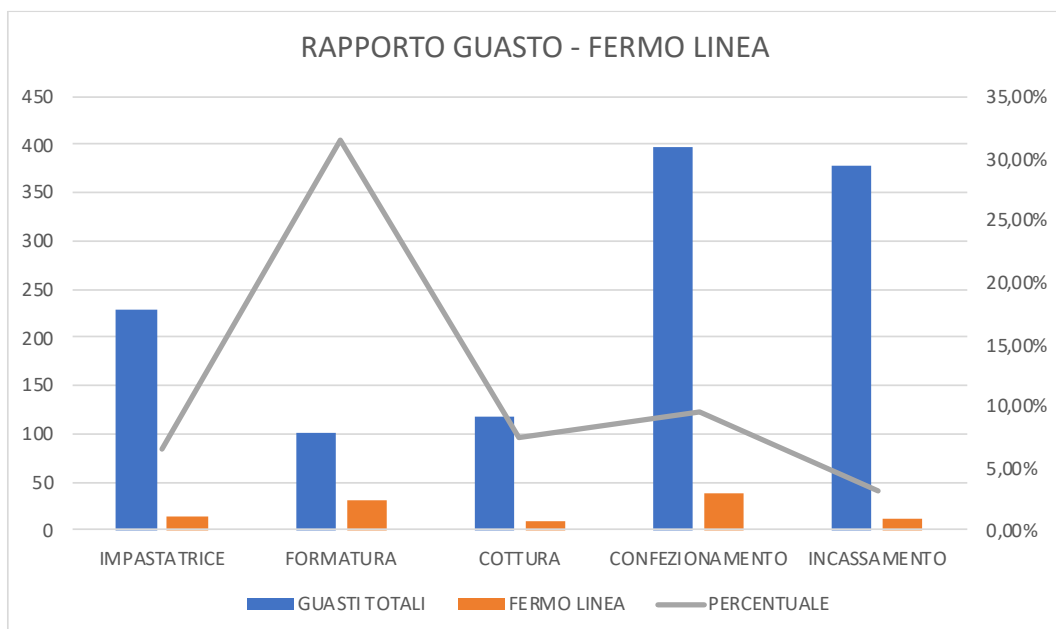


FIGURA 3.1 – RAPPORTO TRA I GUASTI TOTALI E QUELLI BLOCCANTI

Come già spiegato in precedenza, uno degli aspetti negativi di tale procedura interna all'azienda è la relativa inaffidabilità dei dati inseriti. Molti guasti relativi alle zone di impasto, formazione biscotto e di cottura sono definiti come non bloccanti, ovvero non implicano un fermo macchina. Quanto definito è sicuramente opinabile, dal momento che in tali zone il back-up di macchina è praticamente assente (ad eccezione della zona

impasti dove sono presenti due impastatrici in parallelo), e di conseguenza un intervento manutentivo implica necessariamente un fermo.

Questa situazione sarà poi descritta in dettaglio solo in seguito, quando si introdurranno i fattori di criticità e le scale di valutazione per i vari settori.

Come spiegato in precedenza, dopo aver definito una lista inerente alle manutenzioni a guasto per ogni settore, è stato necessario analizzare ogni singola attività. Questa fase è risultata di fondamentale importanza dal momento che ha permesso di determinare una bozza primitiva della tipologia di guasto, andando così a delineare quale fosse la possibile causa, gli effetti, il costo della manodopera (basato sulle ore di lavoro) e se il guasto implicasse un fermo linea/macchina.

Per ogni guasto è stata perciò completata una tabella (vedi sotto) che potesse includere le informazioni principali e le più attinenti ad una buona riuscita dell'elaborato.

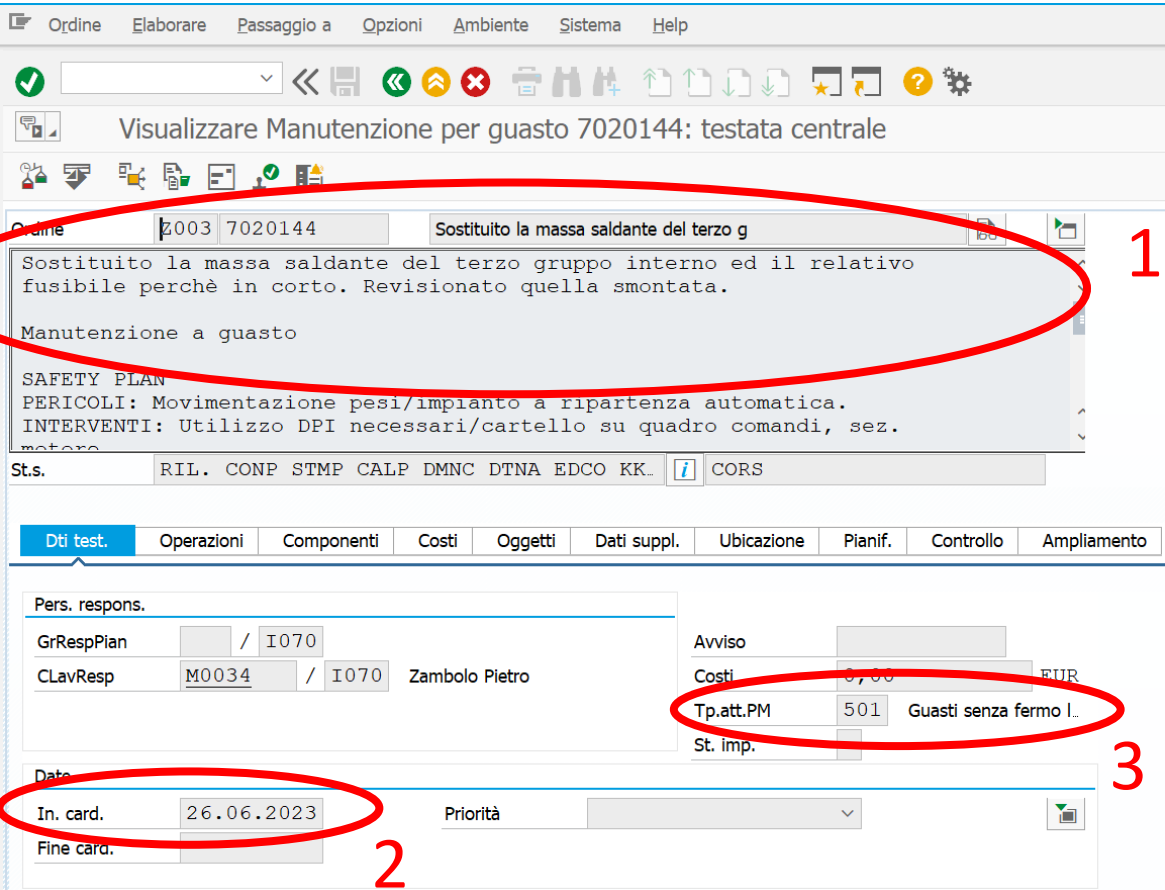
Inizio	Ordine	Ore	Costo	Causa	C. Sostit.	Tipo

TABELLA 3.2 – MODELLO PER DEFINIRE LE INFORMAZIONI PRINCIPALI

In ordine:

- Inizio: indica l'inizio dell'attività di manutenzione per la riparazione del guasto
- Ordine: indica il numero identificativo dell'attività svolta dai manutentori

- Ore: indica il numero di ore di lavoro necessario a riparare la componente
- Costo: relativo al numero di ore di manodopera, considerando un costo orario di circa 39€
- Causa: indica la causa del guasto; alcune volte può non essere esplicitato dai manutentori all'interno dell'ordine
- Costo sostituzione: indica il costo del materiale sostitutivo presente nella lista ricambi
- Tipo: indica l'effetto che il guasto ha sulla macchina e/o linea



Visualizzare Manutenzione per guasto 7020144: testata centrale

Ordine: 0003 7020144 Sostituito la massa saldante del terzo g

Sostituito la massa saldante del terzo gruppo interno ed il relativo fusibile perchè in corto. Revisionato quella smontata.

Manutenzione a guasto

SAFETY PLAN
PERICOLI: Movimentazione pesi/impianto a ripartenza automatica.
INTERVENTI: Utilizzo DPI necessari/cartello su quadro comandi, sez. motore

St.s. RIL. COMP STMP CALP DMNC DTNA EDCO KK... [i] CORS

Dti test. Operazioni Componenti Costi Oggetti Dati suppl. Ubicazione Pianif. Controllo Ampliamento

Pers. respons.

GrRespPlan	/ I070	Avviso	
CLavResp	M0034 / I070	Zambolo Pietro	Costi
			57,00 EUR
			Tp.att.PM
			501 Guasti senza fermo l.
			St. imp.

Date

In. card.	26.06.2023	Priorità	
Fine card.			

FIGURA 3.2 – TIPO DI MANUTENZIONE PER GUASTO SU SAP

Per poter procedere alla compilazione della tabella, è necessario analizzare ogni ordine di manutenzione all'interno della piattaforma SAP, per determinare ogni aspetto rilevante ed estrapolare le informazioni utili.

La figura soprastante rappresenta la schermata SAP di una manutenzione a guasto; in particolare l'attività prevede la sostituzione della massa saldante interna alla confezionatrice.

Il punto 1 indica l'ordine di manutenzione e la descrizione dettagliata delle attività eseguite durante la riparazione. In seguito, il punto 2 indica la data di inizio attività e il punto 3 definisce la tipologia di effetto che ha avuto il guasto in questione sulla macchine o sulla linea: in questo si tratta di un guasto che non prevede alcuna fermata di linea.

Come si può notare dal punto 1, e per quanto detto in precedenza, alcune descrizioni definite dai manutentori non sempre risultato affidabili e complete; in questo caso, infatti, non è definita la causa di guasto, se non per cortocircuito.

Oggetto di riferimento		
Sede tecn.	CAST-23-02-26-0595	ISOLA SIG 12 - PRIMO CONFEZ./MONOPACK
Equipment	10009339	Confezionatrice orizzontale per confezio
Assembl.		

FIGURA 3.3 – CODICE IDENTIFICATIVO E POSIZIONE DI INSTALLAZIONE

L'immagine sopra, invece, indica il codice identificativo dell'equipment su cui è stato caricato l'ordine di manutenzione, e l'area in cui è installata la macchina (sede tecnica).

				1
Costi		0,00	0,00	224,20 EUR
Internal manpower		0,00	0,00	79,84 EUR
Stock Materials (Cost Center)		0,00	0,00	144,36 EUR
<hr/>				
Divis...	Chia...	ChTstSt	S...	Oper. testo breve
I070	PM01			Sostituito la massa saldante del terzo g
				2
				Lav. effettivo
				2

FIGURA 3.4 – COSTI INTERVENTO E TEMPO DI LAVORO

Il punto 1 evidenziato nella figura sopra indica i costi totali dell'intervento, includendo sia il costo di manodopera interna (79,84€) e il costo di materiali per sostituire la componente usurata (144,36€). Direttamente correlato al costo della manodopera, il punto 2 rappresenta il lavoro effettivo svolto dai manutentori. In alcuni casi, il lavoro include attività orarie di più manutentori; per determinare un unico valore orario è stata selezionata l'attività dell'operatore più lunga in termini temporali.

In conclusione, la tabella 3.2 può essere completata in questo modo:

Inizio	Ordine	Ore	Costo	Causa	C. Sostit.	Tipo
26.06.2023	7020144	2	224,20€	Cortocircuito, sostituzione massa saldante	144,36€	NO FERMO

TABELLA 3.3 – TIPOLOGIA DI MODELLO COMPLETATO

Questa transazione, che può sembrare semplice, è stata eseguita per tutti i guasti degli ultimi quattro anni sulla linea di produzione (dal 2019 al 2023), ed ha comportato non poche difficoltà, una tra tutte la mancanza e l'incompletezza dei dati forniti.

3.1.2. STRUTTURA WBS – Definizione dell'albero macchina e del team work

La metodologia FMECA implementata in questo elaborato ha la scopo principale di analizzare a fondo un sistema di macchine, e si fonda principalmente su due aspetti principali:

1. Il primo di questi concentra la propria attenzione su una dettagliata scomposizione gerarchica a complessità decrescente, fino al raggiungimento del livello di dettaglio prestabilito;
2. Il secondo principio presenta una fase di analisi di affidabilità ad ogni livello, determinando ogni modo, causa, effetto che il guasto provoca o comporta sull'entità in esame.

In linea generale, l'approccio FMECA può essere descritto come un susseguirsi di più fasi. Queste sono state organizzate e pianificate settimanalmente per poter aver un quadro chiaro ed efficiente sugli step da seguire e sulle task da svolgere.

La fase descritta nel capitolo 3.1.1 relativa all'analisi dei guasti è servita per definire una prima bozza approssimativa della struttura delle componenti dei macchinari: lo storico dati ha permesso di determinare, per ogni ordine di guasto, quale fosse la componente interessata nell'attività manutentiva. Una volta definita tale bozza, si è costituito un team di lavoro per completare in maniera più esaustiva possibile la struttura WBS di ogni gruppo macchina.

Nell'implementazione della procedura FMECA, definire un teamwork assume un ruolo di grande importanza. Il teamwork si è riunito in più sedute, integrando ogni parere con le competenze e l'esperienza dei vari reparti.

In particolare, le parti in causa sono state le seguenti:

1. Candidato del progetto – tesi
2. Technical Area Manager
3. Responsabile della Manutenzione
4. Continuous Improvement Manager
5. Capituono ed operatori

Dopo aver pianificato una serie di meeting, gli obiettivi che il teamwork si è prefissato nel breve e medio periodo sono i seguenti;

- Revisionare lo storico dei dati, per definire una sempre più completa e accurata analisi
- Organizzare brainstorming per andare a determinare cause, modi ed effetti di ogni guasto
- Definire una scala di valori affidabile per poter assegnare ad ogni modo di guasto una criticità idonea
- Allineare il risultato ottenuto dal calcolo del parametro RPN, con le proprie competenze ed esperienze all'interno del settore
- Gestire le priorità sulla linea di produzione, e definire quali siano le azioni correttive da adottare in caso di punto critico.

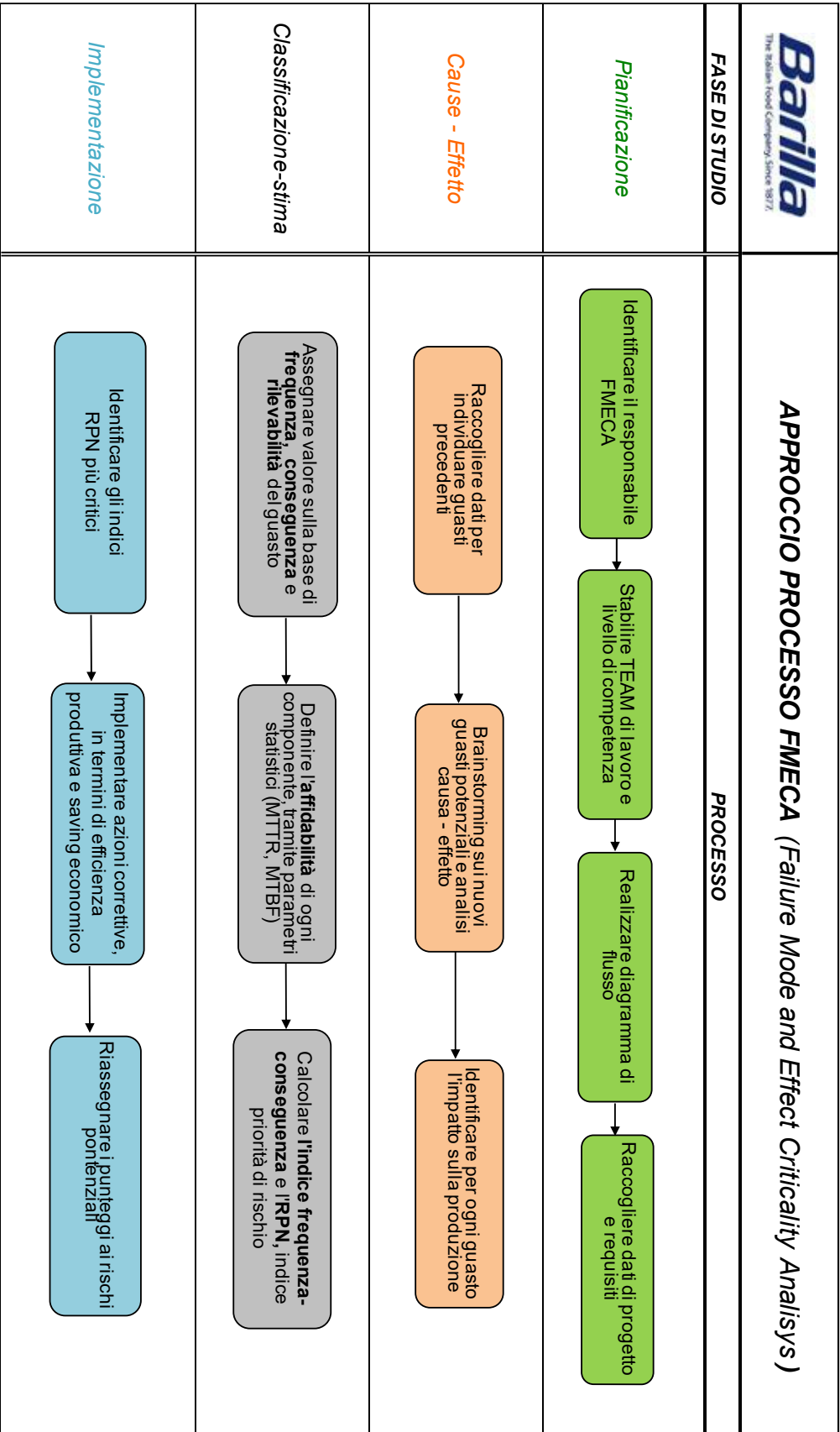


FIGURA 3.5 – PIANIFICAZIONE PROCESSO FMECA

Come definito nel precedente capitolo 2.1.3 relativo alla metodologia di sviluppo nell'approccio FMECA, tutti i gruppi macchina installati sulla linea di produzione in esame sono scomposti in più livelli. Risulta di fondamentale importanza sottolineare come la scomposizione possa seguire diverse logiche, come quella fisico/strutturale e quella funzionale. In tale elaborato, si è deciso di seguire una logica funzionale, ottenendo pressappoco una struttura ad albero contenente tutta la componentistica inclusa nell'apparecchiatura. Nella definizione della WBS sono stati inserite quelle componenti significative per la manutenzione e per il raggiungimento dello scopo dell'elaborato: gli oggetti presenti in suddetta struttura sono rimpiazzabili e migliorabili, e indirettamente indispensabili nell'analisi FMECA.

In conclusione, all'interno della struttura ad albero hanno valore solamente quelle componenti che risulteranno significative all'interno dello schema a blocchi.

Il meccanismo utilizzato per arrivare alla scomposizione finale della macchina si concentra sulle componenti vittime di guasto negli ultimi quattro anni, per poi integrare gli elementi mancanti tramite l'esperienza e le conoscenze del gruppo di lavoro definito sopra.

La struttura ad albero per ogni macro area si compone di 4 livelli.

Ognuno di questi consente di visualizzare e descrivere tutte le parti di ogni attrezzatura presente in linea, realizzate seguendo differenti scale di dettaglio e relativi compiti funzionali.

I livelli sono così definiti:

- Livello I: Macchina
- Livello II: Gruppo
- Livello III: Sotto insieme
- Livello IV: Componente

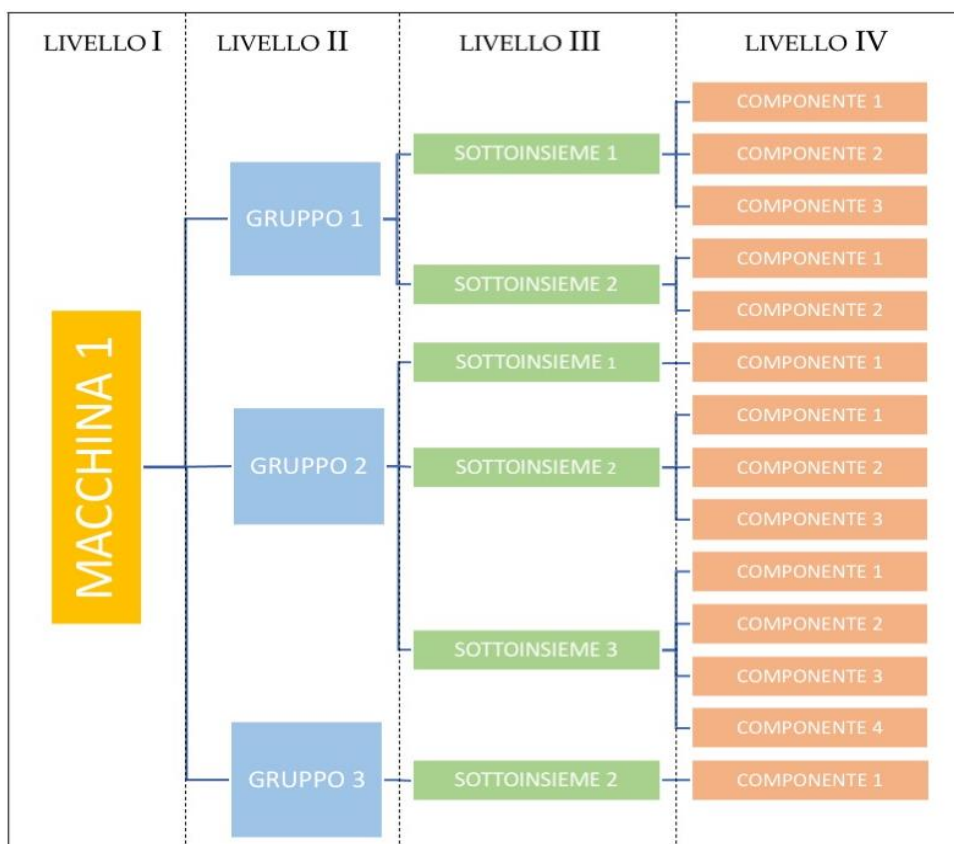


FIGURA 3.6 – ESEMPIO STRUTTURA AD ALBERO

Di seguito, la struttura WBS seguita dalla numerosità di guasti delle 5 macro aree.

- IMPASTATRICE -

WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)				N. GUASTI	
Livello					
MACCHINA	GRUPPO	SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	n. guasti	n. fermo
<i>TRASFERIMENTO MATERIE PRIME</i>	DOSAGGIO	SFARINATI	Quadro elettrico	16	2
			Filtri - Polmone	34	1
			Coclea	52	2
			Serranda	30	1
		LIQUIDI	Tubazione olio	0	0
			Valvole olio	9	0
			Tubazione CO2	0	0
			Valvole CO2	16	2
			Tubazione nocciola liquida	1	0
			Valvola nocciola liquida	2	0
		PREMIX	Coperchio	2	0
			Sensore	2	0
			Valvole	2	0
			Motore	1	0
			Pompa di trasferimento	0	0
<i>PREPARAZIONE IMPASTO</i>	IMPASTATRICE	MOTORE ASPO	Motore	6	0
			Riduttore	1	0
			Cinghie	0	0
		MOTORE ROTAZIONE	Motore	2	0
			Riduttore	1	0
		QE	Teleruttore	6	1
			Sistema lampade	4	0
			Pannello	10	2
		NASTRO VASCONE	Centratore	13	1
			Rullo	1	0
			Catena di motorizzazione	0	0
			Motore principale	3	1
			Riduttore	0	0
			Guide	0	0
			Raschiatori	0	0
			Telo	0	0
		Inverter	0	0	
		VASCA	Bilancia	3	1
			Portello	10	0
Maniche	2		1		

- **FORMATURA** -

WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)				N. GUASTI	
Livello					
MACCHINA	GRUPPO	SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	n. guasti	n. fermo
FORMATURA	ROTATIVA	ROTOSTAMPO	Coltello	4	2
			Motoriduttore	2	0
			Cuscinetti	0	0
			Telo rotativa	3	2
			Centratore	5	2
			Rullo	9	6
			Tramoggia	0	0
		SGRANELLATORE	Motore principale	3	1
			Griglia	4	0
			REGOLAZIONE SPALLE	Servomotori	1
	DECORO	AURIL	Cappa	0	0
			Pompa	0	0
			Rulli	0	0
		GLASSATORE DORATORE	Castello doratura	3	1
			Vaschetta glassa	0	0
			Pompa alimentazione	1	0
		ZUCCHERATORE	Venturimetro	0	0
			Valvola di comando	1	0
			Filtro aspirazione	4	0
			Rullo distribuzione	0	0
Vibratore	16	0			
SISTEMA DI TRASPORTO	TRASPORTO IMPASTO-ROTATIVA	NASTRO ALIMENTAZIONE	Centratore	2	0
			Rullo	4	1
			Catena di motorizzazione	0	0
			Motore principale	0	0
			Riduttore	0	0
			Guide	0	0
			Raschiatori	0	0
			Copertura	3	1
			Telo	0	0
			Inverter	0	0
	TRASPORTO ROTATIVA-FORNO	NASTRO AURIL	Centratore	0	0
			Rullo	0	0
			Catena di motorizzazione	0	0
			Motore principale	0	0
			Riduttore	0	0
			Guide	0	0
			Raschiatori	0	0
			Telo	0	0
			Inverter	0	0
			NASTRO ZUCCHERATORE	Centratore	9
		Rullo		15	7
		Catena di motorizzazione		0	0
		Motore principale		0	0
		Riduttore		0	0
		Guide		0	0
		Raschiatore		1	1
		Telo		3	2
		Inverter		1	1
		NASTRO DORATORE		Centratore	0
			Rullo	1	0
	Catena di motorizzazione		0	0	
	Motore principale		0	0	
	Riduttore		0	0	
	Guide		0	0	
	Raschiatori		0	0	
	Telo		0	0	
	Inverter		0	0	
	PONTE DI CONSEGNA		Centratore	7	2
		Rullo	0	0	
		Catena di motorizzazione	0	0	
Motore principale		0	0		
Riduttore		0	0		
Guide		0	0		
Raschiatori		0	0		
Telo		0	0		
Inverter	0	0			

- COTTURA -

WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)				N. GUASTI		
Livello						
MACCHINA	GRUPPO	SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	n. guasti	n. fermo	
SISTEMA DI COTTURA	FORNO	QE	Filtro	3	0	
			PLC	1	0	
			Centralina	9	2	
			Differenziale	2	1	
		ESTRAZIONE FUMI	Motore aspirazione	4	0	
			Camini vapori	0	0	
			Pressostato	11	1	
			Inverter	1	0	
		GRUPPO BRUCIATORI	Termoregolatore	13	1	
			Scheda manager	10	0	
			Sonda ionizzazione	14	0	
		TRASPORTO A RETE	Rete	0	0	
			Rullo	0	0	
			Gruppo traino	0	0	
			Centratore	3	1	
		IMPIANTO LAVAGGIO	Raschiatore	0	0	
			Spazzole	4	0	
			Ugelli	0	0	
			Alimentazione	4	0	
			Gruppo pompaggio	2	1	
		GRUPPO CONTINUITA	Gruppo aspirazione	0	0	
			UPS	2	0	
		USCITA FORNO	NASTRO TAKE OFF	Centratore	11	1
				Rullo	10	1
				Catena di motorizzazione	0	0
				Motore principale	0	0
				Riduttore	0	0
				Guide	0	0
	Raschiatore			0	0	
	Telo			0	0	
	NASTRO METAL		Centratore	0	0	
			Rullo	0	0	
			Catena di motorizzazione	0	0	
			Motore principale	0	0	
			Riduttore	0	0	
			Guide	0	0	
			Raschiatori	0	0	
			Telo	0	0	
			Inverter	0	0	
	Testata rilevazione metal		5	0		
SISTEMA DI VISIONE	Gruppo telecamere		0	0		
	Gruppo illuminazione		3	0		
	Scarto soffi		3	0		
	Scarto palette		2	0		
	Interfaccia PLC		2	0		

- CONFEZIONAMENTO -

WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)				N. GUASTI		
Livello						
MACCHINA	GRUPPO	SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	n. guasti	n. fermo	
SISTEMA DI CONFEZIONE	PESATURA MULTITESTA	CANALI DI TRASPORTO	Canale vibrante	8	1	
			Canale di alimentazione	7	0	
		DOSAGGIO	Piatto vibrante	16	0	
			Cella di scarico	36	1	
			Cestello	14	1	
	CONFEZIONATRICE SIG 17	SCARICO PRODOTTO	Gruppo tazze	24	2	
			Gruppo sgancio	12	0	
			Cinghia di traino	4	1	
		TAGLIO	Coltello tagliacuci	11	0	
			Coltello rifilo	6	0	
		STAMPO	Inchiostro	0	0	
			Fotocellula	0	0	
			Testina marcatore Videojet	1	0	
		GRUPPO SALDATURA	Incollatore	15	0	
			Massa saldante longitudinale	16	4	
			Massa saldante posteriore	22	9	
			Massa saldante anteriore	9	3	
		GR. ELETTRICO	Alimentazione	6	0	
			Centralina	4	3	
		GRUPPO SVOLGI BOBINA	Quadro elettrico	1	0	
			Allineatore FIFE	6	1	
			Ballerino	16	0	
			Carter	15	0	
			Cinghie di traino	32	3	
			Freno	12	3	
			Motore	3	1	
		FORMATORE	Fotocellula	16	1	
			Guide pacchetti	10	1	
			Gruppo Y	7	3	
			Gruppo di ripiega	3	0	
		TRASPORTO USCITA	NASTRINO	Telo	16	1
				Cinghia per taratura	6	0
CONTROLLO PRODOTTO		BILANCIA PONDERALE	Guide taratura	5	0	
	Stampante		2	0		
	Fotocellula		11	0		
	X-RAY	Espulsore	6	0		
		Database ricetta	9	0		
		Regolatore	5	0		
		Generatore	5	0		

- INCASSAMENTO -

WORK BREAKDOWN STRUCTURE (WBS)				N. GUASTI		
Livello						
MACCHINA	GRUPPO	SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	n. guasti	n. fermo	
SISTEMA INCASSAMENTO	APRICARTONI	MAGAZZINO	Nastro a tapparella	0	0	
			Motorizzazione nastro	0	0	
			Barriere zona carico	2	0	
			Fotocellule presenza	0	0	
			Azionatore blocco	15	0	
		ROBOT OPM	Riduttori	0	0	
			Motori	4	0	
			Cuscinetti	1	0	
		TESTA PRESA CARTONE	Ventose	2	0	
			Perno portaventose	0	0	
			Sensore cilindro apertura	3	0	
		CARRELLO TRASLAZIONE CARTONE	Cilindro gruppo apertura	9	1	
			Ventose	2	0	
			Cilindro	1	0	
			Gruppo vuoto	7	0	
			Braccio 90° trattenimento	0	0	
			Cinghia motorizzazione	3	0	
			Ruote folli	0	0	
			Quota carrello	22	0	
			Slitta scorrimento	1	0	
			Motoriduttore traslazione	3	0	
		CHIUSURA CARTONE	Leve piega aletta laterale	0	0	
			Cilindro chiusura aletta	16	0	
			Piattelli piega aletta	0	0	
			Sensore chiusura aletta	9	1	
		TAMPONE DI CONTRASTO	Motoriduttore tampone	5	0	
			Perno rotazione tampone	4	2	
			Cilindro uscita porta ventosa	4	0	
			Gruppo vuoto	7	0	
			Quota tampone	9	0	
		ESTRATTORE	Cilindro estrazione	7	0	
			Ventose estrazione	5	0	
			Gruppo vuoto	16	0	
			Sensori posizione estrattore	4	0	
			Fotocellule presenza	0	0	
		INCOLLATORE	Elettrovalvola	7	0	
			Pistola	9	0	
			Ugelli	3	0	
			Fornetto colla	2	0	
		INCASSATRICE	COMPOSIZIONE CASSA	Divaricatore	7	0
				Pressa scatole	3	0
				Sensore alette	17	0
	CONTROLLO		Fotocellula	8	0	
			TRASPORTO CASSA	Cinghia	1	0
	Giunto			1	0	
	Guide			9	2	
	Nastro			7	0	
	Rullo			4	0	
	TESTA ROBOT		Braccio	2	0	
			Cilindro	2	1	
			Motore/velocità	12	1	
			Sensore testa	68	3	
	GRUPPO ARIA	Testa robot	5	0		
		Pompa vuoto	0	0		
		Filtro	0	0		
	MARCATORE	STAMPA	Valvole	0	0	
			Fotocellula	6	0	
			Inchiostro	7	0	
	NASTRATRICE	CHIUSURA	Testina	9	0	
			Gruppo superiore	2	0	
		CONTROLLO	Gruppo taglio	2	0	
			Fotocellula	7	0	
		RIBALTATORE	Cinghia nastro	8	0	
	Motore	8	1			

TABELLA 3.4 – STRUTTURE WBS LINEA 11

3.1.3. DEFINIZIONE NUMEROSITA' GUASTI – Rischio fermo linea e analisi di Pareto

Come descritto nel capitolo 3.1.1, sono stati ispezionati singolarmente tutti i guasti sulla linea, e allocati ad ogni livello di scomposizione. Grazie alle informazioni rilasciate dagli operatori durante le operazioni di manutenzione sulle relative macchine, è stato possibile selezionare quei guasti con effetto sull'efficienza e sulla produttività di linea. In altre parole, definire un rapporto tra i guasti totali e quelli il cui effetto è fermare la macchina/linea, è fondamentale per arrivare a stabilire a grandi linee quali possano essere i punti critici a livello di affidabilità.

È possibile comprendere già dal grafico 3.5 come, analizzando i vari guasti distinti per macro area, la fase di formatura presenta una fortissima criticità dal momento che il rapporto totale tra i guasti totali e quelli bloccanti risulta molto elevato rispetto alle altre aree.

Approfondendo questa tematica su ogni settore, ed in particolare per ogni sottoinsieme, si ottiene una panoramica più chiara e completa. Le entità critiche vengono perciò identificate sulla base di una loro classificazione secondo un parametro ritenuto rilevante dal team work, ovvero l'impatto che può avere un blocco produttivo sulla linea. Naturalmente per giungere a ciò è necessario disporre di una registrazione sufficientemente ampia dello storico di guasti ai diversi livelli di scomposizione dell'impianto.

I dati riportati di seguito, inerenti alla numerosità dei guasti, rappresentano esclusivamente il punto di partenza all'interno dei meeting con il team per la compilazione dell'analisi FMECA, successivamente implementata.

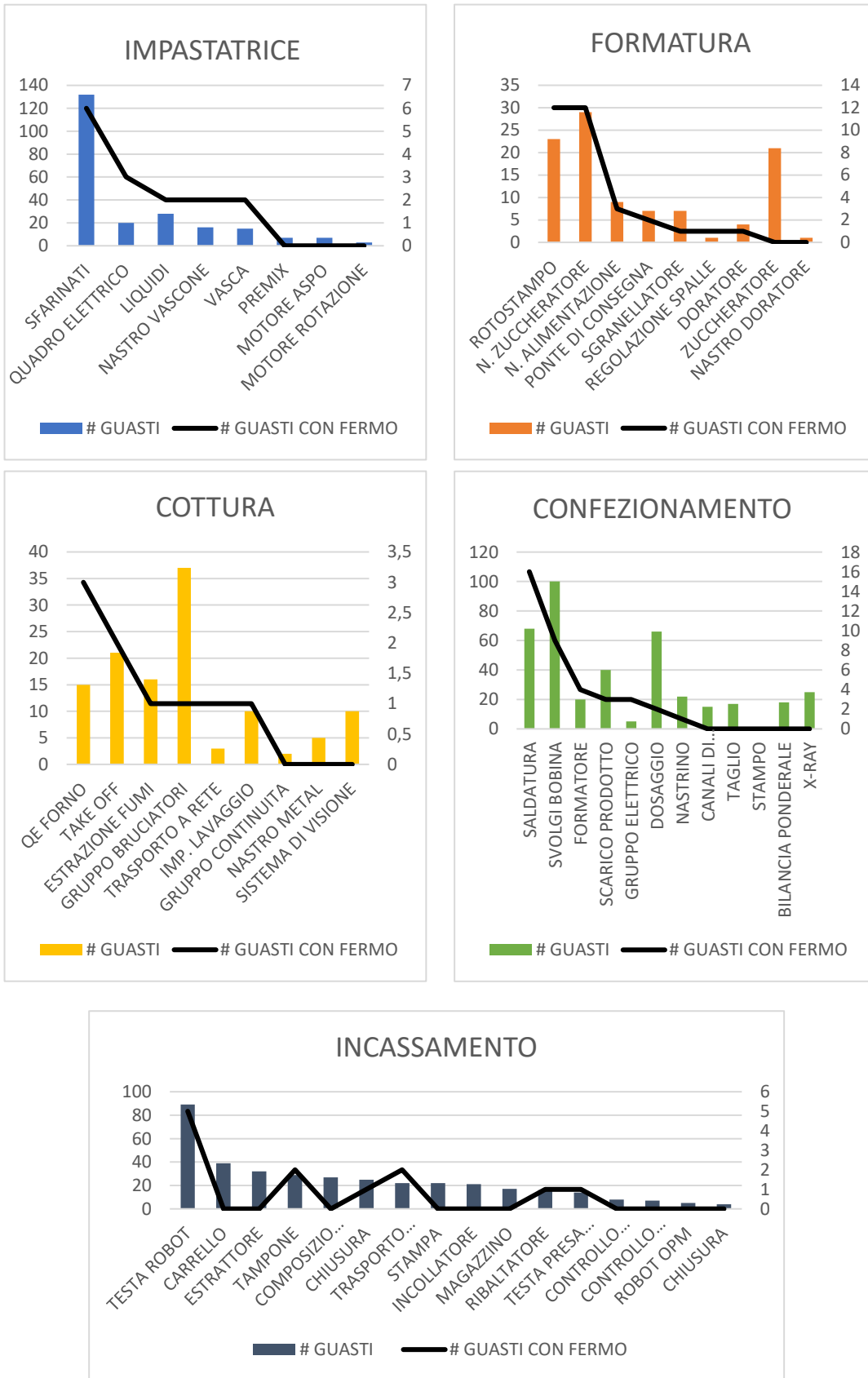


TABELLA 3.5 – NUMEROSITA' GUASTI

Nella prima fase in cui avviene il processo di creazione dell'impasto trova notevole risalto la numerosità dei guasti relativi al sottoinsieme degli sfarinati, sia per quantità sia per impatto produttivo per fermo linea. Secondo i dati analizzati, questa situazione è scaturita dai diversi approvvigionamenti di materie prime installati nell'area. Per ogni ingrediente (farina, zucchero, cacao) sono presenti in reparto filtri, polmoni, coclee, serrande per il carico e lo scarico degli stessi. Di conseguenza aumenta progressivamente anche la numerosità dei guasti.

A livello componentistico i primi cinque per interventi di manutenzione a guasto sono:

1. Coclee, con 52 guasti di cui 2 hanno fermato la linea
2. Filtri e polmoni, con 34 guasti di cui 1 ha fermato la linea
3. Serrande, con 30 guasti di cui 1 ha fermato la linea
4. Quadro elettrico, con 16 guasti di cui 2 hanno fermato la linea
5. Valvole CO₂, con 16 guasti di cui 1 ha fermato la linea

Questi dati evidenziano come la quantità elevata di guasti non rappresenti un punto critico per l'area, dal momento che non comportano una notevole perdita di efficienza e di produttività. Inoltre, è importante sottolineare come il processo di carico ingredienti all'interno dell'impastatrice può essere svolto manualmente da parte degli operatori, evitando blocchi produttivi in caso di fermo macchina.

Più grave rimane la situazione per quanto riguarda il quadro elettrico: rappresenta il secondo sottoinsieme per fermo-linea dopo gli sfarinati (metà dei guasti bloccanti) ma si evidenzia per l'appunto una bassa numerosità di guasti seguita. Questo comporta un 15% di probabilità che la linea si fermi in caso di guasto, rispetto al 4,5% degli sfarinati.

Per quanto concerne la fase di formatura non si evidenziano sottoinsiemi caratterizzati da un'elevata quantità di guasti: per di più questi si suddividono equamente tra il processo di formatura e decorazione del biscotto e il processo di trasporto che li conduce in entrata forno.

Al contrario della fase precedentemente descritta, la formatura rappresenta il settore più critico e vulnerabile dal punto di vista dei fermo-linea. Ogni attività, infatti, non può essere sostituita dal lavoro manuale dell'operatore: in conseguenza di ciò, ogni attività di riparazione sulla macchina può comportare un blocco produttivo.

Tra le componenti soggette maggiormente a questo fenomeno, spiccano:

1. Rullo del nastro zuccheratore (47%, 7 fermo-linea su 15 guasti)
2. Rullo del rotostampo (67%, 6 fermo linea su 9 guasti)
3. Telo del rotostampo (67%, 2 fermo linea su 3 guasti)
4. Telo del nastro zuccheratore (67%, 2 fermo linea su 3 guasti).

Esaminando esclusivamente le percentuali, invece abbiamo tre componenti che hanno necessitato di manutenzione solamente una volta ed hanno comportato un fermo (100% di fermo-linea): l'inverter e il raschiatore dello zuccheratore, e il regolatore delle spalle del rotostampo.

Nella fase di cottura, il sotto insieme maggiormente sottoposto ad attività manutentive è rappresentato dal gruppo di bruciatori (37 guasti), nonostante abbiamo portato ad un unico fermo. In tal senso, è importante prestare attenzione al quadro elettrico del forno, caratterizzato da 3 guasti bloccanti su un totale di 15 totali. Le componenti più sensibili alla rottura sono la sonda di ionizzazione e il termoregolatore, rispettivamente 14 e 13 guasti in quattro anni.

Situazione completamente opposta si verifica nell'isola di confezionamento e di incassamento. In queste fasi, infatti, i macchinari hanno un backup in grado di evitare in alcuni casi il blocco produttivo. Per questa ragione,

nonostante una numerosità di guasto elevata, i due settori non destano particolare preoccupazione e non risultano troppo critici.

A livello numerico, il sotto insieme maggiormente colpito è il gruppo svolgi bobina, con un centinaio di guasti, seguito dalla saldatura (68 guasti) e dal dosaggio nelle celle di carico (66 guasti). Le componenti più critiche in base al fermo linea provocato sono:

1. Centralina della confezionatrice (3 fermo-linea su 4 guasti)
2. Gruppo Y, per la formatura del pacchetto (3 fermo-linea su 7 guasti)
3. Masse saldanti longitudinale e posteriore (12 fermo-linea su 31 guasti totali)

Nella fase di incassamento, infine, nessun sotto insieme risulta critico in termini di blocco produttivo. Si sottolinea esclusivamente una numerosità elevata di attività manutentive sulla testa del robot dell'incassatrice, dovute principalmente al sensore: rappresenta la componente maggiormente sottoposta a controlli, con 68 guasti degli 89 totali del sotto insieme.

3.1.4. INDIVIDUAZIONE DELLA TIPOLOGIA DI GUASTO – Definizione di modi, cause ed effetti

Per la definizione dei modi, delle cause e degli effetti di ogni guasto è stato necessario analizzare ogni dato sviluppato dall'analisi precedente ed integrare le lacune presenti attraverso il lavoro del team.

In tal senso, sono state definite due fasi principali:

- 1 – Fase 1, definizione delle tipologie di guasto sulla base dello storico analizzato all'inizio dell'approccio FMECA per ogni componente. Questa

fase ha implicato, da parte del tesista, un accurato lavoro di analisi a partire dai dati estrapolati dal software SAP.

2 – Fase 2, integrazione delle restanti tipologie di guasto non verificatosi nel corso del lasso temporale preso in considerazione. Tali tipologie sono state definite grazie al supporto del Technical Area Manager e del responsabile di manutenzione, nonché dell'esperienza maturata dai capi turno e dagli operatori di linea.

Sulla base di interviste e competenze tecniche degli addetti ai lavori, inquadrare anche con le informazioni recapitate nei manuali di manutenzione dei vari macchinari, è stato possibile ottenere una visione completa di tutti i modi, le cause e gli effetti di guasto di ogni componente. In altre parole, per ogni componente è stata definita ogni tipologia basandosi in un primo istante su ciò che è accaduto in passato, per poi integrarlo con tutto ciò che potrebbe accadere (in tal caso, la probabilità di guasto pari allo 0% non darà valore nella scala RPN).

Grazie al sostegno del team si è determinata una linea guida efficace, in grado di tralasciare meno cause possibile e ipotizzare qualsiasi situazione critica per ogni componente.

Per lo scopo finale dell'elaborato e dell'analisi FMECA sulla linea di produzione, le cause di guasto sviluppate nella fase 2 sono state incluse esclusivamente per avere un quadro più dettagliato possibile: tali informazioni risulteranno in seguito trascurabili, ovvero non saranno considerabili modi di guasto critici da analizzare. In ogni caso, completeranno una raccolta dati che potrà risultare utile per analisi successive interne all'azienda.

La definizione di modi, cause ed effetti di guasto sono rappresentati e identificati all'interno dell'allegato, nonché nel capitolo 3.1.5., nel quale sono oltremodo integrati i valori critici per la esplicitazione del parametro.

3.1.5 VALORI DI CRITICITA' – Calcolo degli indici necessari all'analisi FMECA

Nella procedura di implementazione del metodo FMECA, il passo successivo alla definizione dei modi di guasto è rappresentato dalla valutazione di tre indici necessari al raggiungimento del parametro di criticità RPN.

Come definito in precedenza nel capitolo 2.1.3, è importante affidare ad ogni tipologia di guasto tre valori principali per poter definire un indice di rischio. I tre valori, moltiplicati successivamente tra loro, sono i seguenti.

- Occurrence (O): indica la numerosità del guasto verificatasi nel corso degli ultimi quattro anni
- Severity (S): rappresenta la severità di ogni guasto e quanto impatta sulla produttività e sull'efficienza
- Detectability (D): definisce la rilevabilità di un guasto, e quanto questo può essere anticipato e rilevato dagli operatori

Per quanto concerne l'occorrenza, la scala definita è rappresentata da una matrice esclusivamente oggettiva. Nelle tabelle precedenti è infatti facilmente visibile il numero di guasti verificati per ogni componente, estrapolati dal software SAP.

Non sempre però i dati segnalati all'interno dei moduli compilati sono attendibili: come spiegato in precedenza le indicazioni degli operatori alcune volte possono risultare non abbastanza precise o addirittura mancanti.

Questo può rappresentare l'unica indicazione soggettiva derivabile da questo indicatore.

Di seguito è rappresentata la tabella numerica definita con gli intervalli necessari per valutare su una scala da 1 a 10 la probabilità di accadimento del guasto.

Valore	OCCURRENCE
1	Da 0 a 1 eventi negli ultimi 4 anni
2	Da 2 a 4 eventi negli ultimi 4 anni
3	Da 5 a 7 eventi negli ultimi 4 anni
4	Da 8 a 10 eventi negli ultimi 4 anni
5	Da 11 a 13 eventi negli ultimi 4 anni
6	Da 14 a 16 eventi negli ultimi 4 anni
7	Da 17 a 20 eventi negli ultimi 4 anni
8	Da 26 a 35 eventi negli ultimi 4 anni
9	Da 36 a 50 eventi negli ultimi 4 anni
10	Più di 50 eventi negli ultimi 4 anni

TABELLA 3.6 – SCALA DI VALUTAZIONE OCCURENCE

Discorso completamente diverso deve essere fatto per il secondo indice, la severity. In tal senso, il parametro in esame è definito attraverso l'inclusione di diversi fattori, sia oggettivi sia soggettivi.

In altre parole, sulla severità di un guasto partecipano contemporaneamente tre diversi elementi; questi saranno in seguito moltiplicati tra di loro e il valore ottenuto sarà normalizzato su una scala da 1 a 10.

In particolare, gli elementi interessati sono:

- Backup, ovvero la possibilità per ogni componente di avere una parte sostitutiva in caso di guasto e/o mancata funzione. Questa sostituzione può essere rappresentata non solo da una seconda componente identica già installata, ma anche da una diversa organizzazione operativa implementando il lavoro manuale e non

più quello automatizzato. Un'ulteriore sostituzione può essere rappresentata dall'installazione di un gruppo macchina (come quello di confezionamento) in parallelo, in modo tale da evitare mancata produttività in caso di blocco di una delle due macchine.

Il backup non è rappresentato da una scala di valori, ma è indicato esclusivamente da un fattore moltiplicativo, seguendo la successiva tabella.

Valore	BACK - UP
0,5	Back-up completo per la macchina e/o linea
0,8	Back-up parziale o degradato per la macchina e/o linea
1	Nessun backup presente

TABELLA 3.7 – SCALA DI VALUTAZIONE BACKUP

- Fermo linea, rappresenta la numerosità effettiva dei guasti che hanno implicato un fermo della macchina e/o della linea, i guasti cosiddetti "bloccanti". Come per l'occurrence, il dato in esame ha una validità molto oggettiva, dal momento che dipende strettamente dai dati ricavati dallo storico dei guasti. Allo stesso tempo, come spiegato in precedenza, questo tipo di informazione rilasciata dagli operatori non è sempre affidabile. Il valore di tale indice è rapportato su una scala da 1 a 5, basata sulla percentuale ottenuta dal rapporto tra i guasti bloccanti e i totali. La tabella seguente è un'indicazione della scala di valori.

Valore	FERMO - LINEA
1	Da 0% a 10% di probabilità di fermo linea
2	Da 10% a 20% di probabilità di fermo linea
3	Da 20% a 30% di probabilità di fermo linea
4	Da 30% a 50% di probabilità di fermo linea
5	Da 50% a 100% di probabilità di fermo linea

TABELLA 3.8 – SCALA DI VALUTAZIONE FERMO-LINEA

Valore	IMPATTO
1	Variabilità di processo entro gli standard qualitativi, regolazioni di processo
2	Fermo produttivo tra 10m - 30m, nessun problema qualitativo
3	Fermo produttivo tra 30m - 1h, fuori standard qualitativo fino a 1h
4	Fermo produttivo tra 1 - 2h, fuori standard qualitativo tra 1 -1.5 h
5	Fermo produttivo tra 2 - 4h, fuori standard qualitativo tra 1.5 - 2 h
6	Fermo produttivo tra 4 - 8h, fuori standard qualitativo per più di 4h
7	Fermo produttivo superiore alle 8h, fuori standard qualitativo tra 4 - 8h
8	Pericolo per la sicurezza alimentare: blocco produttivo > 8h
9	Effetti gravi per la sicurezza del personale, del prodotto alimentare

- Impatto, ovvero il parametro cardine nel calcolo della severità. Tale indice denota quale effetto ha provocato il fermo linea, sia a livello quantitativo (ore di mancata produzione) sia a livello qualitativo (prodotto fuori standard o mancata sicurezza nel processo). La scala di valori non è lineare: è stato necessario distanziare gli effetti che causano blocchi produttivi da quelli che non li causano, per dare loro maggiore criticità ed attenzione.

I tempi di fermo linea indicati corrispondono al tempo medio di riparazione della componente o di ripristino del guasto, includendo anche il tempo logistico, il tempo di ritardo gestionale e quello di diagnosi.

La quota parte inerente alla qualità del prodotto e del processo è stata assunta tramite l'esperienza e le competenze del team work, il quale ha valutato minuziosamente ogni effetto di guasto e lo ha quantificato in base alla scala che segue:

La risultante della severity è un valore derivato dai tre fattori appena descritti.

$$Severity = Backup * (FermoLinea + Impatto)$$

Si ottiene così il valore della severity, che può variare da un minimo di 1 ad un massimo di 14. Questa assumption è stata implementata per poter dare un valore alla severity molto più marcato e rilevante rispetto agli altri due parametri.

Un discorso completamente diverso deve essere fatto per l'ultimo parametro incluso nel calcolo dell'indice di criticità, ovvero la detectability. Come descritto precedentemente, la rilevabilità di un guasto può essere più o meno rintracciabile dagli operatori e/o dai manutentori. In tal senso, il valore affidato ad ogni modo di guasto è derivato da un'analisi soggettiva del team work, che attraverso la sua esperienza ha definito l'entità dell'anomalia sulla base di chi e in quale situazione può rilevare il guasto. I due aspetti presi in considerazione nel calcolo di questo parametro sono i seguenti:

- Operatore che rileva il guasto (se è sufficiente il controllo dell'operatore di linea o è necessaria la presenza del manutentore)
- Situazione in cui si effettua il controllo dell'anomalia (macchina in marcia, durante la preparazione della linea, a macchina ferma)

A differenza dei due indici precedenti, la detectability si imposta su una scala di valori da 1 a 5. Questa assunzione è stata fatta dal momento che i guasti hanno tutti entità diversi, e derivano da cause e da meccanismi tra loro diversi. Nel valutare la criticità di una componente o di un modo di guasto, la rilevabilità assume una posizione leggermente più di contorno rispetto alla valutazione della probabilità e della severità di un guasto.

La rilevabilità di un guasto può essere solo in parte migliorata, ma risulta complicato ridurla al minimo. Di conseguenza l'effetto ottenuto da un miglioramento della rilevabilità è minimo rispetto agli altri parametri.

Di seguito è rappresentata la scala di valori riepilogativa dell'indice in esame.

Valore	DETECTABILITY
1	Anomalia rilevabile dalla conduzione macchina dell'operatore
2	Anomalia rilevabile dall'operatore durante la preparazione linea a macchina ferma
3	Anomalia rilevabile con il controllo dei manutentori a macchina ferma
4	Anomalia rilevabile con il controllo dei manutentori a macchina in marcia
5	Anomalia non rilevabile con il controllo dei manutentori

TABELLA 3.10 – SCALA DI VALUTAZIONE DETECTABILITY

Portando a compimento un esempio specifico, il rullo del rotostampo durante la fase di formatura del prodotto è sottoposto a diversi guasti:

- Rottura del rullo
- Rumore anomalo
- Slittamento del telo
- Mancanza di allineamento del prodotto lungo il nastro

L'ultimo di questi casi rappresenta uno dei tanti punti critici all'interno del processo: questa tipologia di guasto può provocare un fermo linea per poter

avere il prodotto ridistribuito uniformemente lungo il nastro trasportatore. La causa principale può essere impuntata ad un sistema di tensionamento dei rulli non corretto e fuori specifica.

Come si può facilmente vedere all'interno dell'allegato, a livello numerico la situazione è la seguente:

- Numero di guasti avvenuti: 5
- Numero di guasti bloccanti: 3 (60%)
- Tempo medio di lavoro: 1,80 ore

A livello di parametri del metodo FMECA, l'occurrence si può calcolare algebricamente: i 5 guasti negli ultimi 4 anni posizionano la tipologia di guasto sul valore 3, indicando una bassa criticità. Procedendo al calcolo della severity, invece, l'indicatore del backup si stabilizza a 1, dal momento che sulla linea di produzione l'impianto di formatura è unico e non può essere sostituito né dal lavoro manuale né da macchinari identici in parallelo. Di conseguenze assume il suo valore massimo. Il secondo parametro da tenere in considerazione per la severità del guasto è la numerosità dei cosiddetti guasti bloccanti sul totale: in tal senso, il 60% di questi implica un blocco produttivo ed una conseguente perdita di efficienza, affidando un valore pari a 5.

Un discorso più preciso e ampio deve essere fatto per la valutazione dell'impatto che la tipologia di guasto ha avuto sulla produzione e sulla qualità del prodotto; per giungere a tale dato è da considerare il tempo medio di lavoro. Nell'esempio in questione il blocco produttivo si aggira intorno ad un'ora e 40 minuti, che implicherebbe un valore pari a 4 nella scala precedentemente stabilita. Contrariamente a ciò, il valore è stato aumentato a 5 dopo un'analisi soggettiva da parte del team di lavoro,

poiché il guasto ha provocato un fuori standard qualitativo tra le 1,5 e le 2 ore.

Il valore risultante della severity sarebbe pari a:

$$Severity = B * (F+)I = 1 * (5 + 5) = 10$$

Il parametro riportato assume perciò un valore pari a 10.

Per l'ultimo dato necessario al calcolo dell'RPN (detectability), l'analisi eseguita è stata esclusivamente soggettiva, mediante l'aiuto delle conoscenze del team. Il modo di guasto assume un valore pari a 3: in un primo momento si può pensare che la mancanza di allineamento sia rilevabile dall'operatore durante la marcia della linea, ma non è possibile in questo caso capire la causa del guasto. Per poter identificare la non correttezza del sistema di tensionamento è necessario l'intervento dei manutentori con la macchina ferma. Da qui il valore affidato alla tipologia.

3.1.6 CALCOLO RPN – Definizione dell'indice di criticità assoluto

Per raggiungere la finalità ultima dell'elaborato il passo successivo, nonché ultimo, consiste nella valutazione prettamente aritmetica dell'indice di criticità RPN.

Tale parametro, come spiegato nei dettagli in precedenza, è la risultante dei tre fattori (occurrence, severity e detectability) determinati nel paragrafo 3.1.5.

$$RPN = Occurrence * Severity * Detectability$$

Nelle tabelle riportate di seguito sono indicate le informazioni e i valori numerici dei tre parametri necessari al calcolo dell'indice di priorità di rischio RPN.

IMPASTATRICE

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	Modo di guasto	OCCURRENCE	SEVERITY	DETECTABILITY	RPN
SFARINATI	Quadro elettrico	Allarme apertura cancelli	4	7	5	140
		Malfunzionamento pulsanti di arresto ciclo	1	5	3	15
		Rottura relè di sicurezza	3	5	4	60
	Filtri - Polmone	Intasamento filtro	4	4,8	2	38
		Malfunzionamento motore termico	7	4	5	140
		Rottura componente filtro	1	5,6	4	22
		Errato livello controllo	2	4,8	2	19
	Coclea	Malfunzionamento motore termico	9	4	5	180
		Errato inserimento teleruttore	1	4	4	16
		Rottura componente coclea	3	5,6	4	67
		Intasamento coclea	4	5,6	2	45
	Serranda	Usura sensore	7	4	5	140

		Intasamento serranda	4	4,8	2	38
		Rottura componente serranda	2	4	4	32
LIQUIDI	Valvola olio	Rottura valvola	2	6	4	48
		Usura sensore	1	3	5	15
		Rottura componente valvola	2	5	4	40
		Fuoritolleranza livello del liquido	2	5	4	40
	Tubazione olio	Rottura delle tubazioni	1	3	3	9
		Errato livello di liquido	1	6	3	18
	Tubazione CO2	Rottura delle tubazioni	1	10	3	30
		Errato livello di liquido	1	4	3	12
	Valvole CO2	Rottura valvola	3	5,6	4	67
		Usura sensore	2	5,6	5	56
		Rottura componente valvola	3	4,8	4	58
		Fuoritolleranza livello del liquido	1	3,2	4	13
	Tubazione nocciola liquida	Rottura delle tubazioni	1	4	3	12
		Errato livello di liquido	1	5	3	15
	Valvola nocciola liquida	Rottura valvola	1	4,8	4	19
		Usura sensore	1	4	5	20
Rottura componente valvola		1	3,2	4	13	
Fuoritolleranza livello del liquido		1	3,2	4	13	
PREMIX	Coperchio	Rottura gancio coperchio	1	4	1	4
		Rottura maniglia	1	4	1	4
	Sensore	Usura sensore	2	4	4	32
	Valvole	Rottura valvola	1	4,8	4	19
		Usura sensore	1	5,6	4	22
		Rottura componente valvola	1	3,2	4	13
	Motore	Malfunzionamento motore	1	4,8	3	14
MOTORE ASPO	Motoriduttore	Errata movimentazione aspo	3	4,8	5	72
		Rottura centralina aspo	2	4	5	40
		Rottura motoriduttore	1	5,6	4	22
	Cinghie	Rottura cinghie	1	3,2	4	13
MOTORE ROTAZIONE	Motoriduttore	Rottura motoriduttore	1	5,6	4	22
		Rottura centralina vasca	2	4	5	40
	Cinghie	Rottura cinghie	1	3,2	4	13
QUADRO ELETTRICO	Teleruttore	Anomalia pilz	2	4	5	40
		Anomalia pilz	1	2,4	5	12
		Allarme apertura cancelli	2	6,4	5	64
	Sistema lampade	Rottura lampada	2	3,2	3	19
	Pannello	Allarme apertura cancelli	3	5,6	5	84
		Pannello di controllo fuori calibrazione	1	4,8	4	19
		Rottura componente pannello	2	4,8	4	38
NASTRO VASONE	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	5	4	4	80
		Rottura fotocellula passaggio	1	2,4	4	10

	Rullo	Mancanza allineamento prodotto	1	3,2	3	10
		Rottura rullo	1	4	4	16
		Rumore anomalo	1	4	3	12
		Slittamento del telo	1	2,4	3	7
		Slittamento del telo	1	2,4	3	7
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	4	4	16
	Motore principale	Malfunzionamento motore	2	7,2	5	72
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	4,8	4	19
	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6
	Telo	Rottura nastro	1	5,6	1	6
		Danneggiamento nastro	1	5,6	1	6
Inverter	Anomalia inverter	1	4	4	16	
VASCA	Bilancia	Malfunzionamento celle di carico	2	8	4	64
	Portello	Rottura sensore di fine corsa	2	4,8	4	38
		Posizione errata portello	1	4	3	12
		Rottura micro interruttore	3	4	3	36
	Maniche	Usura o sfregamento maniche	2	8,8	2	35

FORMATURA

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	Modo di guasto	OCCURRENCE	SEVERITÀ	DETECTABILITÀ	RPN
ROTOSTAMPO	Coltello	Rottura lama	2	6	2	24
		Malfunzionamento taglio rotativa	2	11	2	44
	Motoriduttore	Malfunzionamento motore	1	6	4	24
		Malfunzionamento motore	1	6	4	24
	Telo rotativa	Rottura nastro habasit	2	10	1	20
		Rottura nastro habasit	1	5	1	5
	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	1	9	4	36
		Rottura fotocellula passaggio	2	8	4	64
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	5	2	10
		Mancanza allineamento prodotto	3	10	3	90
		Rottura rullo	1	5	4	20
		Rumore anomalo	1	7	4	28
		Slittamento del telo	2	8	1	16
	Slittamento del telo	1	8	1	8	

AURISPAL SGRANELLATO	Motore principale	Rottura motore	2	9	4	72
		Rottura aspo	1	4	4	16
	Griglia	Mancata apertura griglia	2	3	3	18
		Rottura sensore	1	5	4	20
AURISPAL LE	Servomotori	Funzionamento asincrono regolazione spalle	1	10	4	40
AURISPAL	Pompa	Malfunzionamento pompa	1	3,2	3	9,6
DORATORE	Castello doratura	Fuori posizione	2	9	1	18
		Rottura spine	1	7	2	14
	Pompa alimentazione	Malfunzionamento pompa	1	6	3	18
ZUCCHERATORE	Valvola di comando	Rottura valvola di comando	1	6	4	24
	Filtro aspirazione	Rottura/intasamento filtro	2	6	2	24
		Malfunzionamento pompa autoportante	1	6	3	18
	Vibratore	Malfunzionamento canale vibrante	6	4	3	72
		Guasto cablaggi elettrici	2	4	5	40
NASTRO ALIMENTAZIONE	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	2	7	4	56
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	4	2	8
		Mancanza allineamento prodotto	2	9	3	54
		Rottura rullo	1	9	4	36
		Rumore anomalo	1	5	3	15
		Slittamento del telo	1	4	3	12
		Slittamento del telo	1	4	3	12
		Slittamento del telo	1	4	3	12
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24
	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7
Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20	
NASTRO AURIL	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	1	5	4	20
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	4	2	8
		Mancanza allineamento prodotto	1	6	3	18
		Rottura rullo	1	5	4	20
		Rumore anomalo	1	5	3	15
		Slittamento del telo	1	4	3	12
		Slittamento del telo	1	4	3	12
		Slittamento del telo	1	4	3	12
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24
	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7

	Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20
NASTRO ZUCCHERATORE	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	4	6	4	96
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	4	2	8
		Mancanza allineamento prodotto	5	9	3	135
		Rottura rullo	1	9	4	36
		Rumore anomalo	1	5	3	15
		Slittamento del telo	1	4	3	12
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24
	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	6,4	2	12,8
	Telo	Rottura nastro	2	11	1	22
	Inverter	Anomalia inverter	1	9	4	36
NASTRO DORATORE	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	1	5	4	20
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	4	2	8
		Mancanza allineamento prodotto	1	6	3	18
		Rottura rullo	1	5	4	20
		Rumore anomalo	1	5	3	15
		Slittamento del telo	1	4	3	12
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24
	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7
	Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20
PONTE CONSEGNA	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16
		Guasto attuatori pneumatici	2	5	4	40
		Rottura fotocellula passaggio	2	9	4	72
	Rullo	Perdita di qualità e proprietà nell'impasto	1	4	2	8
		Mancanza allineamento prodotto	1	6	3	18
		Rottura rullo	1	5	4	20
		Rumore anomalo	1	5	3	15
		Slittamento del telo	1	4	3	12
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24

	Raschiatori	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7
	Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20

COTTURA

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	Modo di guasto	OCCURRENCE	SEVERITÀ	DETECTABILITÀ	RPN
QUADRO ELETTRICO	Filtro	Rottura filtro	2	2	3	12
	PLC	Tensione bassa in uscita	1	6	5	30
	Centralina	Rottura contattore	3	6	4	72
		Malfunzionamento centralina	1	6	5	30
		Mancata connessione con pilz	1	11	5	55
		Mancata connessione con pilz	1	11	5	55
Differenziale	Dispersione elettrica	2	14	4	112	
ESTRAZIONE FUMI	Motore aspirazione	Rottura motore	2	6	5	60
		Malfunzionamento motore	1	5	4	20
	Pressostato	Rottura tubo	2	4	3	24
		Blocco zona	2	7,2	5	72
		Rottura pressostato	2	4,8	5	48
	Inverter	Rottura inverter	1	4	4	16
		Errore Bassa frequenza	1	6	5	30
GRUPPO BRUCIATORI	Termoregolatore	Avaria ritorno fumi	3	5	4	60
		Guasto scheda analogica	1	5	5	25
		Mancato raggiungimento set point	3	7	5	105
		Rottura sonda di temperatura	1	5	4	20
	Scheda manager	Rottura scheda	2	6	5	60
		Blocco zona per alta T	3	6	3	54
	Sonda ionizzazione	Rottura/guasto sonda	6	5	5	150
TRASPORTO A RETE	Rete	Rottura rete	1	10	2	20
	Rullo	Mancanza allineamento prodotto	1	6	3	18
		Rottura rullo	1	10	4	40
		Rumore anomalo	1	7	3	21
		Slittamento della rete	1	10	3	30
		Slittamento della rete	1	10	3	30
	Centratore	Rottura valvola di comando	1	6	4	24

		Guasto attuatori pneumatici	1	12	4	48	
		Rottura sensore sbandamento rete	1	8	4	32	
	Raschiatore	Malfunzionamento raschiatore	1	6	2	12	
IMPIANTO LAVAGGIO	Spazzole	Malfunzionamento impianto	2	4,8	3	28,8	
		Malfunzionamento impianto	1	4,8	1	4,8	
	Alimentazione	Mancata alimentazione pompe AP	2	6	1	12	
		Rottura spina ILME	1	6	3	18	
	Gruppo pompaggio	Rottura valvola di comando	1	5	4	20	
		Malfunzionamento pompa d'acqua	1	3	3	9	
CONTI NUITA	UPS	Spegnimento UPS	2	10	3	60	
NASTRO TAKE OFF	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16	
		Guasto attuatori pneumatici	4	6	4	96	
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20	
	Rullo	Mancanza allineamento prodotto	2	6	3	36	
		Rottura rullo	1	5	4	20	
		Rumore anomalo	2	8	3	48	
		Slittamento del telo	1	4	3	12	
			Slittamento del telo	2	4	3	24
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20	
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25	
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24	
	Raschiatore	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4	
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7	
	Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20	
NASTRO METAL	Centratore	Rottura valvola di comando	1	4	4	16	
		Guasto attuatori pneumatici	1	5	4	20	
		Rottura fotocellula passaggio	1	5	4	20	
	Rullo	Mancanza allineamento prodotto	1	6	3	18	
		Rottura rullo	1	5	4	20	
		Rumore anomalo	1	5	3	15	
		Slittamento del telo	1	4	3	12	
		Slittamento del telo	1	4	3	12	
	Catena di motorizzazione	Rottura catena	1	5	4	20	
	Motore principale	Malfunzionamento motore	1	5	5	25	
	Riduttore	Rottura motoriduttore	1	6	4	24	

	Raschiatore	Malfunzionamento raschiatore	1	3,2	2	6,4
	Telo	Rottura nastro	1	7	1	7
	Inverter	Anomalia inverter	1	5	4	20
	Testata rilevazione metal	Eccessivi falsi scarti	3	6	3	54
SISTEMA DI VISIONE	Gruppo illuminazione	Rottura lampade LED	2	4	2	16
		Rottura cavo di alimentazione	1	4,8	3	14,4
	Scarto soffi	Malfunzionamento valvola di scarto	2	4	2	16
		Malfunzionamento valvola di scarto	1	4	3	12
	Scarto palette	Rottura testa selettore	1	6	4	24
		Malfunzionamento valvola di scarto	1	5	3	15
	PLC	Mancanza di connessione PLC	1	6	4	24
		Mancanza di connessione PLC	1	5	5	25

CONFEZIONAMENTO

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	Modo di guasto	OCCURRENCE	SEVERITÀ	DETECTABILITÀ	RPN
CANALI TRASPORTO	Canale vibrante	Rottura canale vibrante	2	2,5	5	25
		Rottura motore vibrovaglio	1	2,5	5	12,5
		Rottura fotocellula	1	2,5	3	7,5
		Irregolarità vibrazioni	2	2,5	3	15
	Canale di alimentazione	Mancanza di prodotto sullo scivolo	2	2,5	1	5
		Intasamento prodotto su nastro	2	2,5	1	5
		Rottura motore	1	3	5	15
Rottura anelli frangiflutti		1	3	4	12	
DOSAGGIO	Piatto vibrante	Errata taratura piatto	3	3	2	18
		Rottura vibratore	3	3,5	5	52,5
		Vibrazione piatto irregolare	2	2,5	4	20
	Cella di scarico	Errata calibrazione cella	8	2,5	2	40
		Errata apertura cella	2	2,5	2	10
		Rottura teleruttore	1	3	5	15
	Cestello	Errata calibrazione cestello	2	2,5	2	10
		Errata calibrazione cestello	3	3,5	2	21
Mancata movimentazione cestello		3	2,5	2	15	
SCARICO PRODOTTO	Gruppo tazze	Rottura raccordo	4	2,5	4	40
		Rottura tazza	6	2,5	4	60
		Rottura asta	2	2,5	4	20

	Gruppo sgancio	Rottura leva	2	2,5	4	20
		Rottura perno	4	2,5	4	40
	Cinghia di traino	Rottura/allungamento catena	2	3,5	4	28
TAGLIO	Coltello tagliacuci	Rottura lama	3	2,5	2	15
		Rottura molla	2	2	2	8
		Movimento coltello bloccato	2	3	3	18
	Coltello rifilo	Rottura lama	3	2,5	2	15
		Rottura molla	1	2	2	4
		Movimento coltello bloccato	1	3	3	9
STAMPO	Fotocellula	Rottura fotocellula	1	2,5	2	5
		Errata taratura prodotto	1	2	2	4
	Testina	Rottura testina	1	2	1	2
GRUPPO SALDATURA	Incollatore	Rottura filtro	1	3	2	6
		Rottura fotocellula	1	3	4	12
		Rottura ugello	5	2,5	1	12,5
		Pulizia vaschetta non idonea	1	3	2	6
	Massa saldante longitudinale	Rottura cilindro	1	3,5	4	14
		Rottura gommino	3	4,5	1	13,5
		Rottura resistenza tubolare	2	4,5	3	27
		Rottura resistenza tubolare	1	3	4	12
		Rottura supporti	2	3	4	24
		Rottura termocoppia	2	3	3	18
	Massa saldante posteriore	Rottura cuscinetto	2	5	4	40
		Rottura dentatura ganascia	1	2,5	2	5
		Rottura gommino	1	2,5	1	2,5
		Rottura molla	2	4	4	32
		Rottura perno	2	2,5	4	20
		Rottura resistenza tubolare	4	5	3	60
		Rottura resistenza tubolare	2	3	4	24
		Rottura termocoppia	2	3	3	18
		Rottura teste di biella	1	5	4	20
	Massa saldante anteriore	Rottura cilindro	2	4,5	4	36
		Rottura dentatura ganascia	1	4,5	2	9
		Rottura perno	2	2,5	4	20
		Rottura resistenza tubolare	2	3	4	24
		Rottura termocoppia	1	3	3	9
	Alimentazione	Intervento differenziale automatico	2	2,5	4	20
		Intervento differenziale automatico	2	2,5	5	25
		Intervento differenziale automatico	1	2	4	8
GR. ELETTRICO	Centralina	Avaria circuito emergenza	1	4,5	5	22,5
		Anomalia sensore pilz	2	4,5	5	45
	Quadro elettrico	Rottura filtro condizionatore	1	2	3	6

GRUPPO SVOLGIBOBINA	Allineatore FIFE	Eccessivo sbandamento carta	3	3,5	5	52,5
	Ballerino	Traino carta irregolare	6	2,5	3	45
		Traino carta irregolare	1	3	4	12
		Traino carta irregolare	1	3	4	12
	Carter	Rottura micro carter bobina	4	2,5	4	40
		Eccessivo sbandamento carta	2	3	1	6
		Mancata chiusura carter	2	2,5	3	15
	Cinghie di traino	Scivolamento traino carta non efficiente	2	3,5	1	7
		Scivolamento traino carta non efficiente	6	2,5	3	45
		Scivolamento traino carta non efficiente	2	4,5	3	27
		Scivolamento traino carta non efficiente	2	2	2	8
		Scivolamento traino carta non efficiente	2	2	4	16
		Rottura cinghie di traino	3	2,5	4	30
		Rottura cuscinetto e perno	1	2,5	4	10
	Freno	Eccessivo sbandamento carta	4	3	3	36
		Rottura freno	2	5	4	40
		Rottura cuscinetti	2	3	4	24
	Motore	Rottura motore svolgibobina	2	3	5	30
		Arresto motore	1	5,5	5	27,5
	Fotocellula	Errata lettura tacca	6	2	1	12
Rottura fotocellula		1	2,5	3	7,5	
FORMATORE	Guide pacchetti	Guide fuori posizione	4	2,5	1	10
		Mancata pulizia guide	3	2,5	2	15
	Gruppo Y	Rottura molla	3	3,5	4	42
		Rottura cuscinetto	1	5	4	20
		Rottura gruppo Y	1	5,5	4	22
NASTRINO	Telo	Rottura nastro habasit	3	3	3	27
		Mancata pulizia del nastro	4	2	2	16
	Cinghia taratura	Rottura cinghia trasmissione	3	2,5	4	30
BILANCIA PONDERALE	Guide taratura	Errata pesatura sacchetto	3	2,5	2	15
	Stampante	Rottura stampante	2	2,5	5	25
	Fotocellula	Rottura fotocellula	2	2	4	16
		Errata lettura presenza prodotto	4	2,5	3	30
X-RAY	Espulsore	Espulsione prodotto non conforme	3	3,5	3	31,5
	Databas e ricetta	Scarto prodotto conforme	4	3,5	3	42
	Regolatore	Errata rilevazione lettura	3	4	5	60
	Generatore	Arresto improvviso della macchina	1	3,5	5	17,5
		Mancato avviamento macchina	2	3	5	30
		Rottura generatore	1	3,5	5	17,5

INCASSAMENTO

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	Modo di guasto	OCCURRENCE	SEVERITY	DETECTABILITÀ	RPN
MAGAZZINO	Barriere zona carico	Rottura sensore di fine corsa	2	2,5	2	10
	Fotocellule presenza	Rottura fotocellula	1	2	4	8
	Azionatore blocco	Rottura micro di sicurezza	6	2,5	4	60
ROBOT OPM	Motori	Posizione della testa fuori dai limiti	2	2,5	3	15
		Rottura cuscinetti	1	3,5	3	10,5
	Cuscinetti	Rumore anomalo	1	3	4	12
TESTA PRESA CARTONE	Ventose	Rottura ventosa	1	2,5	2	5
		Apertura casse non idonea	1	2,5	3	7,5
	Perno portaventose	Rottura perno	1	2	4	8
	Sensore cilindro apertura	Rottura sensore cilindro e/o supporto	2	2,5	4	20
	Cilindro gruppo apertura cartone	Rottura cilindro srombatura	2	2,5	4	20
		Posizione cilindro apertura errata	3	2,5	4	30
CARRELLO TRASLAZIONE CARTONE	Ventose	Rottura ventosa	2	2,5	2	10
	Cilindro	Rottura cilindro carrello	1	2,5	4	10
	Gruppo vuoto	Mancata aspirazione cartone	2	2,5	2	10
		Mancata aspirazione cartone	2	2	2	8
		Mancata aspirazione cartone	2	3	2	12
	Cinghia motorizzazione	Rottura cinghia	1	2	3	6
		Errato traino carrello	2	2,5	3	15
	Carrello avanzamento cartoni	Tensione della cinghia insufficiente	6	2	4	48
		Cartoni mal formati / inceppamenti	3	2	4	24
		Regolazione extracorsa errata	1	2	3	6
	Slitta scorrimento	Errata presa cartone	1	2,5	4	10
Motoriduttore traslazione	Posizione del carrello non corretta	2	3	4	24	
CHIUSURA CARTONE	Cilindro chiusura aletta	Rottura cilindro chiusura	2	2,5	4	20
		Chiusura casse non idonea	5	2	3	30
	Sensore chiusura aletta	Rottura sensore cilindro e/o supporto	2	2,5	4	20
		Mancata lettura	3	2,5	3	22,5
TAMPONE	Motoriduttore tampone	Movimento tampone urta cartone	2	2,5	4	20

		Rottura componente motore	1	3	4	12
	Perno rotazione tampone	Rottura perno	2	4,5	4	36
	Cilindro uscita porta ventosa	Rottura cilindro	2	2,5	4	20
	Gruppo vuoto	Mancata aspirazione cartone	2	2,5	2	10
		Rottura elettrovalvola d'inserimento vuoto	2	2,5	4	20
	Quota tampone	Posizione del tampone non corretta	4	2	2	16
ESTRATTORE	Cilindro estrazione	Rottura cilindro estrazione	2	2,5	4	20
		Errato posizionamento estrattore	3	2	4	24
	Ventose estrazione	Rottura ventosa	1	1,5	2	3
		Mancata aspirazione ventose	3	2	3	18
	Gruppo vuoto	Mancata estrazione cartone	2	2,5	2	10
		Mancata estrazione cartone	3	2	2	12
		Rottura componente vuoto	4	3	2	24
	Sensori posizione estrattore	Rottura sensore cilindro e/o supporto	2	2	4	16
		Mancata lettura	1	1,5	3	4,5
	Fotocellule presenza	Rottura fotocellula	1	2	4	8
INCOLLATORE	Elettrovalvola	Rottura elettrovalvola	3	2	2	12
	Pistola	Sparo colla insufficiente	3	2	1	6
		Rottura pistola	2	3	4	24
	Ugelli	Sparo colla insufficiente	2	2	1	4
		Rottura ugello	1	2	3	6
Fornetto colla	Rottura fornello	2	2,5	2	10	
COMPOSIZIONE CASSA	Divaricatore	Rottura cilindro divaricatore	2	2,5	4	20
		Apertura casse non idonea	2	1,5	1	3
	Pressa scatole	Rottura cilindro	2	2	4	16
	Sensore alette	Rottura sensore e/o supporto	4	2	4	32
Mancata lettura		3	2	3	18	
CONTRO LLO	Fotocellula	Rottura fotocellula	2	2	4	16
		Errata lettura prodotto	3	1,5	3	13,5
TRASPORTO CASSA	Cinghia	Rottura cinghia	1	2	4	8
	Giunto	Rottura giunto	1	2,5	4	10
	Guide	Posizione pacchetti sotto testa non idonea	4	3	2	24
	Nastro	Pacchetti non disposti regolarmente	2	2	3	12
		Rottura componente nastro	3	3	4	36
	Rullo	Rottura rullo traino	2	2,5	4	20

TESTA ROBOT	Braccio	Debole sicurezza limiti del software	2	3	5	30
	Cilindro	Rottura cilindro spostamento testa	1	4,5	4	18
		Errato posizionamento testa robot	1	2,5	4	10
	Motore/velocità	Movimentazione pacchetti non idonea	4	3	3	36
		Rottura motore	2	3	5	30
	Sensore testa	Posizione sensore non idonea	10	2,5	3	75
		Rottura sensore e/o componenti	3	2,5	4	30
	Testa robot	Posizione della testa fuori dai limiti	2	2,5	4	20
		Posizione della testa fuori dai limiti	1	2,5	4	10
Rottura testa e componenti		1	2,5	4	10	
STAMPA	Fotocellula	Rottura fotocellula	1	2	4	8
		Errata lettura prodotto	3	3	1	9
	Inchiostro	Stampe non presenti o poco nitide	3	2	1	6
	Testina	Rottura testina	4	3	4	48
CHIUSURA	Gruppo superiore	Rottura gruppo nastro superiore	2	2,5	4	20
	Gruppo taglio	Rottura coltello	1	2	4	8
		Errata posizione taglio	1	2	3	6
CONTRO LLO	Fotocellula	Rottura fotocellula	2	2	4	16
		Errata lettura prodotto	2	1,5	3	9
RIBALTATORE	Cinghia nastro	Rottura cinghia	3	2,5	4	30
		Errato traino cinghia	2	2	4	16
	Motore	Rottura componente motore	3	3,5	5	52,5
		Malfunzionamento culla	2	2,5	4	20

TABELLA 3.11 – RPN DEI MODI DI GUASTO PER OGNI AREA

3.1.7 MATRICE DI CRITICITA' – Definizione dei modi di guasto più critici

La matrice di criticità rappresenta uno dei più idonei strumenti per poter definire la gravità di un guasto, e il rischio che ne consegue. Denominata anche matrice di probabilità o di impatto, aiuta a stabilire il rischio e a determinare le sue conseguenze.

Questa valutazione del rischio R è determinante per identificare quali siano le priorità sulle azioni future da intraprendere, ed è implementata partendo dai due parametri di Occurrence e di Severity.

In tal senso, per definire una misura eguale per i due indici, è stata realizzata un'ulteriore scala di valutazione per poterli mettere in correlazione tra di loro.

Valore	MATRIX
1	Raro/Insignificante
2	Improbabile/Minore
3	Possibile/Moderato
4	Probabile/Maggiore
5	Quasi certo/Severo

TABELLA 3.12 – SCALA DI CORRELAZIONE TRA OCCURRENCE E SEVERITY

Per identificare i due indici e normalizzarli secondo la scala di valutazione appena rappresentata, è stata seguita una linea guida, ovvero:

- Da 1 a 2 → Valore 1 (Raro – Insignificante)
- Da 3 a 4 → Valore 2 (Improbabile – Minore)
- Da 5 a 6 → Valore 3 (Possibile – Moderato)
- Da 7 a 8 → Valore 4 (Probabile – Maggiore)

- Superiore a 9 → Valore 5 (Quasi certo – Severo)

Individuato un particolare modo di guasto, il valore numerico del rischio R è stimo come prodotto tra la severità del guasto e la probabilità di accadimento (entrambi su base 5). Il rischio R rappresenta di conseguenza la stima del rischio, quanto esso sia impattante e frequente.

$$R = Occurrence * Severity$$

Da quanto detto, esso può assumere un valore compreso tra 1 e 25.

La tabella seguente rappresenta gli standard da seguire e poi applicare ad ogni macro-area, in modo da selezionare i pericoli maggiori e adottare le azioni migliori.

		SEVERITY				
		1	2	3	4	5
OCCURENCE	X	Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
Quasi certo	5	5	10	15	20	25
Probabile	4	4	8	12	16	20
Possibile	3	3	6	9	12	15
Improbabile	2	2	4	6	8	10
Raro	1	1	2	3	4	5

TABELLA 3.12 – MATRICE STANDARD PER LA VALUTAZIONE DELLE CRITICITA'

Come si può facilmente evincere dalla tabella soprastante, sono state definite quattro sezioni colorate che definiscono la criticità del guasto, ipotizzando per ogni zona una possibile tipologia di interventi.

- Livello 1 (VERDE): saranno necessarie azioni migliorative da valutare in fase di programmazione e assolutamente non prioritarie. Include guasti poco severi che si verificano con frequenza molto bassa.
- Livello 2 (GIALLO): le azioni correttive sono da programmare ed implementare nel breve-medio termine. Il livello temporale risulta di fondamentale importanza, dal momento che la delimitazione dell'area è stata definita dando maggior importanza alla severity rispetto alla probabilità di guasto.
- Livello 3 (ARANCIONE): sono necessarie azione migliorative da programmare con estrema urgenza. Le tipologie di guasto per cui si rileva un elevato valore di severità ed un medio-basso livello di numerosità: in tal senso, risulta necessario controllare in modo frequente e continuativo il corretto funzionamento della componente e il suo grado di usura. Queste azioni sono fondamentali per evitare un guasto poco probabile ma che può provocare effetti drastici.
- Livello 4 (ROSSO): le azioni migliorative da intraprendere sono improcrastinabili. In questa situazione si ha una combinazione di occorrenza e severità che conduce ad un elevato livello di rischio e pericolo.

Calcolato il valore di rischio R per tutte le tipologie di guasto, sono state implementate le tabelle per ogni area di riferimento. Questa metodologia appare perciò di straordinaria importanza, comprensibile ed attuabile per evitare conseguenze indesiderate.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive: all'interno di ogni cella è presente la numerosità di guasti caratterizzati dal preciso valore di rischio R.

IMPASTATRICE		SEVERITY				
		Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
OCCURENCE	X	1	2	3	4	5
Quasi certo	5		1			
Probabile	4		2			
Possibile	3		1			
Improbabile	2		5	5	1	
Raro	1	4	36	14	3	1
FORMATURA		SEVERITY				
		Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
OCCURENCE	X	1	2	3	4	5
Quasi certo	5					
Probabile	4					
Possibile	3		1			1
Improbabile	2			1		1
Raro	1		29	49	10	12
COTTURA		SEVERITY				
		Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
OCCURENCE	X	1	2	3	4	5
Quasi certo	5					
Probabile	4					
Possibile	3			1		
Improbabile	2			5	1	
Raro	1	1	18	34	6	9
CONFEZIONAMENTO		SEVERITY				
		Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
OCCURENCE	X	1	2	3	4	5
Quasi certo	5					
Probabile	4	1				
Possibile	3	5				
Improbabile	2	13	11	1		
Raro	1	31	33	6		
INCASSAMENTO		SEVERITY				
		Insignificante	Minore	Moderato	Maggiore	Severo
OCCURENCE	X	1	2	3	4	5
Quasi certo	5	1				
Probabile	4					
Possibile	3	3				
Improbabile	2	15	7			
Raro	1	51	10			

TABELLA 3.13 – MATRICI IMPLEMENTATE CON MODI DI GUASTO CRITICI

È importante sottolineare come non sempre la valutazione dell'RPN sia in linea con quella del rischio R. Tra i due parametri, l'elemento differente è la *detectability*, non presente nel calcolo di R.

Per questo motivo, all'interno delle tabelle sopra descritte, la classificazione è definita seguendo le aree colorate e non il valore numerico derivato dalla moltiplicazione tra Occurrence e Severity.

Come si può facilmente osservare, il caso di un guasto con probabilità minima e maggiore severità assume un valore (4) inferiore rispetto ad altre celle colorate di giallo e definite di minor criticità (come ad esempio un guasto con probabilità possibile e severità minore, 6).

Questa *assumption* è stata determinata per poter assegnare al parametro della Severity maggior importanza e criticità rispetto all'Occurrence: il risultato è una tabella con le sezioni colorate non perfettamente speculari rispetto alla diagonale.

In risposta a tale assunzione, di seguito è presente la lista delle tipologie di guasto più critiche, relazione sia quanto espresso dal calcolo dell'RPN sia da quanto emerso dalle matrici di criticità. Per quanto spiegato, le ultime righe della tabella sono rappresentate da modi di guasto che a livello di RPN risultano poco critici; una volta implementati all'interno delle matrici, sono però risultati critici poiché, nonostante non si siano mai verificati nel periodo in esame, la pericolosità di questi risulta comunque molto rilevante.

LISTA MODI DI GUASTO CRITICI IN TERMINI DI R E RPN

SOTTO-INSIEME	COMPONENTE	MODO DI GUASTO	RPN	MATRIX
SFARINATI	<i>Coclea</i>	Malfunzionamento motore termico	180	10
BRUCIATORI	<i>Sonda ionizzazione</i>	Rottura/guasto sonda	150	9
SFARINATI	<i>Filtri-Polmone</i>	Malfunzionamento motore termico	140	8
SFARINATI	<i>Quadro Elettrico</i>	Allarme apertura cancelli	140	8
SFARINATI	<i>Serranda</i>	Usura sensore	140	8
N. ZUCCHERATORE	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	135	15
QE FORNO	<i>Differenziale</i>	Dispersione elettrica	112	5
BRUCIATORI	<i>Termoregolatore</i>	Mancato raggiungimento set point	105	8
ROTOSTAMPO	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	90	10
ESTRAZIONE FUMI	<i>Pressostato</i>	Blocco zona	72	4
PONTE CONSEGNA	<i>Centratore</i>	Rottura fotocellula passaggio	72	5
SGRANELLATORE	<i>Motore</i>	Rottura motore	72	5
NASTRO VASCONI	<i>Motore</i>	Malfunzionamento motore	72	4
ROTOSTAMPO	<i>Centratore</i>	Rottura fotocellula passaggio	64	4
VASCA	<i>Bilancia</i>	Malfunzionamento celle di carico	64	4
GR. CONTINUITA'	<i>Ups</i>	Spegnimento UPS	60	5
ALIMENTAZIONE ROT	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	56	4
QE FORNO	<i>Centralina</i>	Mancata connessione con pilz	55	5
QE FORNO	<i>Centralina</i>	Mancata connessione con pilz	55	5
ALIMENTAZIONE ROT	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	54	5
RETE FORNO	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	48	5
TAKE OFF	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	48	4
ROTOSTAMPO	<i>Coltello</i>	Malfunzionamento taglio rotativa	44	5
RETE FORNO	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	40	5
SPALLE	<i>Servomotori</i>	Funzionamento asincrono regolazione spalle	40	5
ALIMENTAZIONE ROT	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	36	5
N. ZUCCHERATORE	<i>Inverter</i>	Anomalia inverter	36	5

N. ZUCCHERATORE	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	36	5
ROTOSTAMPO	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	36	5
VASCA	<i>Maniche</i>	Usura o sfregamento maniche	35,2	4
RETE FORNO	<i>Centratore</i>	Rottura sensore sbandamento rete	32	4
RETE FORNO	<i>Rullo</i>	Slittamento della rete	30	5
RETE FORNO	<i>Rullo</i>	Slittamento della rete	30	5
LIQUIDI	<i>Tubazioni CO2</i>	Rottura delle tubazioni	30	5
ROTOSTAMPO	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	28	4
N. ZUCCHERATORE	<i>Telo</i>	Rottura nastro	22	5
RETE FORNO	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	21	4
RETE FORNO	<i>Rete</i>	Rottura rete	20	5
ROTOSTAMPO	<i>Telo rotativa</i>	Rottura nastro habasit	20	5
DORATORE	<i>Castello</i>	Fuori posizione	18	5
ROTOSTAMPO	<i>Rullo</i>	Slittamento del telo	16	4
DORATORE	<i>Castello</i>	Rottura spine	14	4
ROTOSTAMPO	<i>Rullo</i>	Slittamento del telo	8	4
NASTRO METAL	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4
TAKE OFF	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4
ALIMENTAZIONE ROT	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4
NASTRO AURIL	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4
NASTRO DORATORE	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4
PONTE CONSEGNA	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7	4

TABELLA 3.14 – LISTA MODI DI GUASTO CRITICI IN TERMINI DI RPN E R

3.1.8 MTBF, MTTR E COSTI – Analisi numerica per definizione attività da intraprendere

Una volta definiti i principali modi di guasto più critici installati sulla linea di produzione, è necessario impostare le basi necessarie per poter programmare ipotetiche azioni migliorative future. Per questa ragione, la determinazione di alcune metriche risulta importante per rappresentare un efficiente punto di riferimento da cui partire.

L'MTBF è il tempo medio tra i guasti di una componente; è utile per poter monitorare sia la disponibilità che l'affidabilità. L'indice, come descritto nel secondo capitolo, è calcolato utilizzando semplicemente una media aritmetica. Poiché la metrica è utilizzata per monitorare l'affidabilità, l'MTBF non tiene conto del tempo di inattività previsto durante la manutenzione programmata, ma si focalizza su interruzione e problemi imprevisti. Si è assunto come tempo totale un quantitativo di 1550 giorni. In tal senso, presupponendo 5 guasti dal 2019 al 2023, si ottiene un MTBF pari a 310 giorni.

Questo dato, che può sembrare superfluo, risulta importante dal momento in cui si cerca di programmare una manutenzione preventiva futura sulla componente: avere una stima della vita utile di una componente è il primo passo per poter organizzare interventi di manutenzione programmata volti ad evitare blocchi linea indesiderati e anticipare il guasto non preventivato. Gli altri due dati importanti da estrapolare dallo storico dei guasti sono quelli relativi al costo medio di riparazione (MTTR) e il costo totale di intervento. Quest'ultimo è la risultante della somma di tre fattori principali:

- Costo della manodopera diretta, stimata a 39 €/ora
- Costo sostituzione della componente

- Costo di inefficienza produttiva, stimata a 530€/ora

Come si può dedurre, il secondo fattore è incluso solamente nei casi in cui il guasto comporta una rottura od una sostituzione per eccessiva usura.

Questi due elementi assumono grande valore per poter effettuare un'analisi economica necessaria a definire possibili savings. In tal senso, l'MTTR offre una visione chiara sul tempo di fermo per riparare la componente; ridurre tale dato comporta un netto miglioramento dell'efficienza e della produttiva. Oltre a ciò, l'indice dà un riscontro sul tempo di riparazione e offre un dato utile per gli interventi futuri di manutenzione preventiva/predittiva.

Per quanto concerne la composizione della voce di costo, questa si basa su assunzioni definite dal team di lavoro. In particolare, l'azienda ha assunto come paga oraria per i manutentori il valore di 39€/ora. Mentre per il dato inerente all'inefficienza produttiva viene fatta un'assunzione importante: il mancato versato in termini di tonnellate non è valorizzato come mancato ricavo o costo opportunità. Fatta questa doverosa premessa, si definisce per un'ora di fermo linea un valore di costo pari a 500€, così composto:

- MdO Diretta (50% del totale) valorizzata con una FTE di 6,5moltiplicato per il costo orario della MdO di reparto €/h. (circa 250€)
- Consumo a vuoto Energia Termica (30% del totale): valorizzata come consumo orario medio produttivo moltiplicato per il costo unitario €/smc del metano.
- Consumo a vuoto Energia Elettrica (20% del totale): valorizzata come consumo orario medio produttivo moltiplicato per il costo unitario €/kwh.

Lo scarto/sfrido che generalmente si genera tra fermata e ripartenza non è troppo significativo in questo calcolo, ma è stimato attorno ai 30€ orari.

Di seguito è illustrata la tabella relativa ai modi di guasto più critici e i seguenti dati:

- MTBF (espresso in giorni);
- MTTR (espresso in ore);
- Costo intervento MdO (€);
- Costo sostituzione componente (€);
- Costo inefficienza produttiva (€);
- Costo totale per ogni intervento manutentivo (€).

COMPON.	MODO DI GUASTO	MT BF	MT TR	MDO	SOSTI TUZ.	INEFF.	COSTO TOTALE
Rullo zuccheratore	Mancanza allineamento prodotto	119	2	106,95	0	3180	3.286,95 €
Telo rotativa	Rottura nastro habasit	517	2	109,35	1836,86	1060	3.006,21 €
Telo zuccheratore	Rottura nastro	517	3	109,95	627,95	1060	1.797,90 €
Rullo rotativa	Mancanza allineamento prodotto	310	1,8	95,35	0	1590	1.685,35 €
Rullo alimentaz.	Rottura rullo	1550	3	512,44	331,66	530	1.374,10 €
Centratore ponte	Rottura fotocellula passaggio	517	1,17	116,72	167,93	1060	1.344,65 €
QE Sfarinati	Allarme apertura cancelli	172	1,39	32,51	178,36	1060	1.270,87 €
Rullo zuccheratore	Rottura rullo	1550	3	59,37	607,6	530	1.196,97 €
Rullo rotativa	Slittamento del telo	775	2,5	96,28	0	1060	1.156,28 €
Coltello rotativa	Malfunzionamento taglio	775	2,5	92,63	0	1060	1.152,63 €
Centratore rotativa	Rottura fotocellula passaggio	388	2,25	198,54	183,89	530	912,43 €
Motore sgranellatore	Rottura motore	775	1,5	145,81	152,34	530	828,15 €
Servomotori spalle	Malfunzionamento spalle	1550	2	111,15	127,88	530	769,03 €
Rullo rotativa	Slittamento del telo	1550	3	156,2	19,96	530	706,16 €
Termoregolat ore	Mancato setpoint	258	2,08	129,85	31,58	530	691,43 €

<i>Centratore alimentaz.</i>	Guasto attuatori pneumatici	388	2,5	151,14	0	530	681,14 €
<i>Centralina forno</i>	Mancata connessione con pilz	1550	2	148,2	0	530	678,20 €
<i>Inverter zuccheratore</i>	Anomalia inverter	1550	2	113,67	27,37	530	671,04 €
<i>Motore nastro vasca</i>	Malfunzionamento motore	517	2	133,6	0	530	663,60 €
<i>Pressostato</i>	Blocco zona	388	2	116,06	0	530	646,06 €
<i>Filtri-Polmone</i>	Malfunzionamento mot. termico	78	1,7	52,67	62,7	530	645,37 €
<i>Coclea</i>	Malfunzionamento mot. termico	41	1,67	95,17	13,03	530	638,20 €
<i>Rullo alimentaz.</i>	Mancanza allineamento prodotto	517	2	106,84	0	530	636,84 €
<i>Bilancia vasca</i>	Malfunzionamento celle carico	517	1,67	93,15	0	530	623,15 €
<i>Castello doratore</i>	Fuori posizione	775	1,5	91,73	0	530	621,73 €
<i>Maniche vasca</i>	Usura o sfregamento maniche	775	1,5	79,84	0	530	609,84 €
<i>Centratore rete forno</i>	Guasto attuatori pneumatici	1550	2	72,9	0	530	602,90 €
<i>Differenziale forno</i>	Dispersione elettrica	775	1,25	69,86	0	530	599,86 €
<i>Centralina forno</i>	Mancata connessione con pilz	1550	1	38,51	0	530	568,51 €
<i>Rullo takeoff</i>	Rumore anomalo	517	0,83	23,28	11,76	530	565,04 €
<i>Centratore rotativa</i>	Guasto attuatori pneumatici	1550	0,5	19,95	0	530	549,95 €
<i>Castello doratore</i>	Rottura spine	1550	5	218,7	0	0	218,70 €
<i>Sonda ionizzazione</i>	Rottura/guasto sonda	111	2	62,13	84,39	0	146,52 €
<i>Serranda</i>	Usura sensore	91	1,71	95,82	23,01	0	118,83 €
<i>Rullo rotativa</i>	Rumore anomalo	1550	2	111,15	0	0	111,15 €
<i>Ups</i>	Spegnimento UPS	775	1,5	77,03	0	0	77,03 €

TABELLA 3.15 – MTBF, MTTR E COSTI TOTALI DEI MODI DI GUASTI PIU' CRITICI

Nella seguente visualizzazione sono presenti esclusivamente i modi di guasti avvenuti nel corso del lasso temporale studiato.

CAPITOLO QUATTRO

IDENTIFICAZIONE DELLE FUTURE AZIONI DA INTRAPRENDERE E CONCLUSIONI FINALI DEL PROGETTO

4.1 Risultati ottenuti

4.1.1. VALUTAZIONE RISULTATI FMECA. Analisi della componentistica critica

I risultati finali di un'analisi FMECA sono un'inestimabile risorsa per la gestione dei rischi e la progettazione di sistemi affidabili. Possono essere utilizzati per prendere decisioni sulla mitigazione dei rischi e per migliorare la sicurezza e l'affidabilità dei sistemi e dei processi.

Il calcolo dell'indice di criticità RPN, e successivamente del rischio R, è calcolato per ogni modalità di guasto per poter identificare quelle più critiche che richiedono attenzione prioritaria. Per i modi di guasto con un alto indice vengono definite delle azioni correttive e preventive: possono includere la revisione del design, l'implementazione di sistemi di backup, l'aggiunta di dispositivi di allarme, ecc.

Inoltre, il rapporto FMECA dovrebbe includere anche un piano di monitoraggio e di gestione dei rischi capace di stabilire i modi in cui saranno controllati ed ispezionati i guasti più critici e come saranno gestite le azioni correttive nel tempo.

Tutta la documentazione di supporto, come tabelle, grafici, diagrammi di flusso, dati di affidabilità del processo e qualsiasi altro dettaglio tecnico rilevante, dovrebbe essere inclusa nel rapporto per fornire una visione completa della metodologia implementata.

Una volta identificati le componenti più critiche è essenziale intraprendere azioni immediate per mitigare i rischi e ridurre al minimo l'impatto negativo sulla produzione e sulla qualità del prodotto.

Di seguito sono riportate alcune azioni da considerare:

1. Risoluzione del guasto immediato:

- Isolare la macchina o il componente difettoso dalla linea di produzione per impedire ulteriori danni o contaminazioni.
- Effettuare una manutenzione correttiva per riparare o sostituire il componente guasto il più rapidamente possibile.

2. Implementazione di sistemi di allarme:

- Installare sistemi di allarme o monitoraggio in tempo reale che possano rilevare rapidamente i guasti critici e avvisare il personale responsabile.
- Utilizzare sensori e tecnologie di rilevamento per identificare anomalie nelle prestazioni delle macchine.

3. Miglioramento del design:

- Esaminare il design della macchina o del processo per identificare vulnerabilità e punti deboli che potrebbero causare guasti critici.
- Apportare modifiche al design per aumentare la robustezza, la resistenza e la facilità di manutenzione.

4. Pianificazione della manutenzione preventiva:

- Implementare programmi di manutenzione preventiva regolari per ispezionare e mantenere le macchine e i componenti chiave in anticipo rispetto ai guasti previsti.
- Utilizzare indicatori chiave delle prestazioni per programmare la manutenzione in base alle condizioni reali.

5. Formazione del personale:

- Assicurarsi che il personale sia adeguatamente addestrato per riconoscere i segni premonitori di guasti critici e per eseguire procedure di emergenza in modo efficace.
- Fornire formazione continua sulle migliori pratiche di manutenzione e sicurezza.

6. Ridondanza e backup:

- Implementare sistemi di ridondanza o backup per le parti più critiche della linea di produzione in modo che, in caso di

guasto, un sistema alternativo possa prendere il sopravvento senza interrompere la produzione.

7. Analisi dei guasti:

- Dopo ogni guasto critico, effettuare un'analisi dettagliata per determinare la causa radice e identificare le azioni correttive necessarie per prevenirlo in futuro.

8. Monitoraggio continuo:

- Mantenere un sistema di monitoraggio continuo per rilevare guasti critici e prestazioni anomale nella linea di produzione, in modo da poter intervenire tempestivamente.

9. Collaborazione con i fornitori:

- Lavorare in stretta collaborazione con i fornitori di attrezzature e componenti critici per garantire la fornitura tempestiva di pezzi di ricambio e il supporto tecnico necessario.

10. Aggiornamento della documentazione:

- Mantenere documenti aggiornati riguardanti i processi di produzione, le procedure di manutenzione e le istruzioni per il personale.

Le azioni da intraprendere possono variare in base alla natura dei guasti critici e alla complessità della linea di produzione, ma l'obiettivo principale è garantire la continuità operativa e la qualità del prodotto. La gestione efficace dei guasti critici richiede una pianificazione diligente, un impegno costante e un approccio proattivo alla manutenzione e alla sicurezza.

Dalla tabella 3.14 è facilmente osservabile come i modi di guasto più critici possano raggrupparsi in cinque categorie:

- Guasto al motore
- Guasto al sensore
- Guasto al quadro elettrico
- Guasto al nastro
- Guasto ad una componente generica.

	RPN medio	Numero
Motore	90	6
Sensore	99,166	6
Quadro	84,4	5
Nastro	34,43	28
Componente	24,3	4

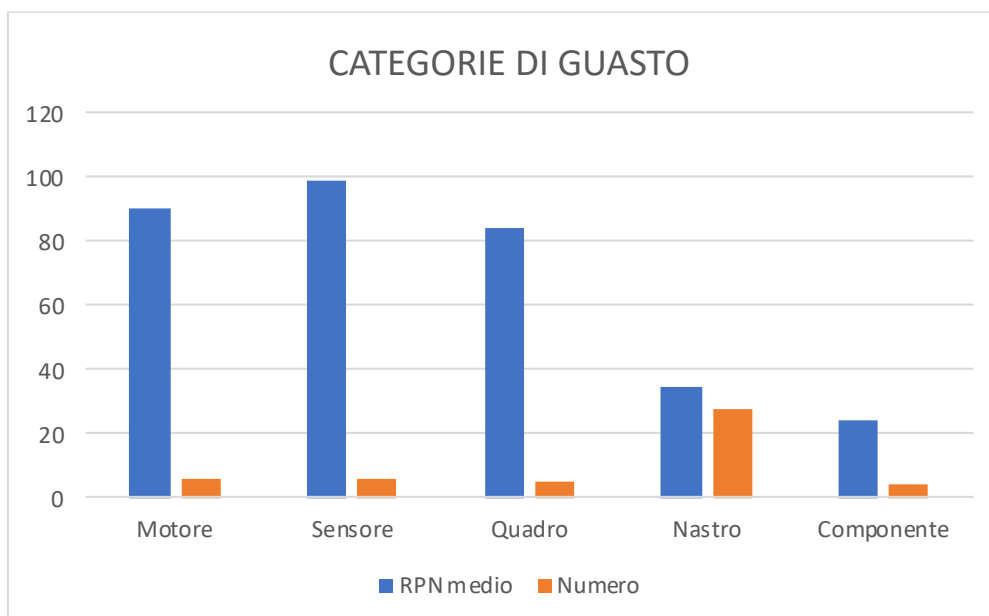


TABELLA 4.1 – CATEGORIE DI GUASTO

In particolare:

CATEGORIE	COMPONENTE	MODO DI GUASTO	RPN
MOTORE	<i>Coclea</i>	Malfunzionamento motore termico	180
SENSORE	<i>Sonda ionizzazione</i>	Rottura/guasto sonda	150
MOTORE	<i>Filtri-Polmone</i>	Malfunzionamento motore termico	140
QUADRO	<i>Quadro Elettrico</i>	Allarme apertura cancelli	140
SENSORE	<i>Serranda</i>	Usura sensore	140
NASTRO	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	135
QUADRO	<i>Differenziale</i>	Dispersione elettrica	112
SENSORE	<i>Termoregolatore</i>	Mancato raggiungimento set point	105
NASTRO	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	90
SENSORE	<i>Pressostato</i>	Blocco zona	72
NASTRO	<i>Centratore</i>	Rottura fotocellula passaggio	72
MOTORE	<i>Motore</i>	Rottura motore	72
MOTORE	<i>Motore</i>	Malfunzionamento motore	72
SENSORE	<i>Centratore</i>	Rottura fotocellula passaggio	64
SENSORE	<i>Bilancia</i>	Malfunzionamento celle di carico	64
QUADRO	<i>Ups</i>	Spegnimento UPS	60
NASTRO	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	56
QUADRO	<i>Centralina</i>	Mancata connessione con pilz	55
QUADRO	<i>Centralina</i>	Mancata connessione con pilz	55
NASTRO	<i>Rullo</i>	Mancanza allineamento prodotto	54
NASTRO	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	48
NASTRO	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	48
NASTRO	<i>Coltello</i>	Malfunzionamento taglio rotativa	44
NASTRO	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	40
MOTORE	<i>Servomotori</i>	Funzionamento asincrono regolazione spalle	40
NASTRO	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	36
MOTORE	<i>Inverter</i>	Anomalia inverter	36
NASTRO	<i>Rullo</i>	Rottura rullo	36
NASTRO	<i>Centratore</i>	Guasto attuatori pneumatici	36
COMPONENTE	<i>Maniche</i>	Usura o sfregamento maniche	35,2
NASTRO	<i>Centratore</i>	Rottura sensore sbandamento rete	32
NASTRO	<i>Rullo</i>	Slittamento della rete	30
NASTRO	<i>Rullo</i>	Slittamento della rete	30
COMPONENTE	<i>Tubazioni CO2</i>	Rottura delle tubazioni	30
NASTRO	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	28
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	22

NASTRO	<i>Rullo</i>	Rumore anomalo	21
NASTRO	<i>Rete</i>	Rottura rete	20
NASTRO	<i>Telo rotativa</i>	Rottura nastro habasit	20
COMPONENTE	<i>Castello</i>	Fuori posizione	18
NASTRO	<i>Rullo</i>	Slittamento del telo	16
COMPONENTE	<i>Castello</i>	Rottura spine	14
NASTRO	<i>Rullo</i>	Slittamento del telo	8
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7
NASTRO	<i>Telo</i>	Rottura nastro	7

TABELLA 4.2 –TIPOLOGIA DI GUASTO

4.2 Possibili strategie manutentive e azioni da intraprendere in futuro

4.2.1. ANALISI TECNICA. Piani manutentivi e risolutivi per ogni modo di guasto critico

Analizzando quanto definito nelle tabelle e nei grafici precedenti, si può facilmente osservare che i guasti riportati sui motori, sensori e quadri elettrici comportano un'elevata criticità (con RPN medi pari a circa 90) ma una bassa numerosità. Al contrario i guasti relativi ai nastri trasportatori sono molto meno impattanti, ma molto più frequenti.

Per la categoria relativa alle componenti montate, queste sono completamente considerate dei materiali di consumo. Una rottura comportata da usura può causare vibrazioni o rumori anomali. Queste indicazioni e questi segnali suggeriscono un controllo periodico programmato, sia visivo che funzionale sulla componente. Una tale organizzazione mantiene le componenti ad un alto livello di efficienza.

Per quanto concerne invece i sensori e le fotocellule, le cause principali di errore sono da ricondursi alla ridotta pulizia e ad un allineamento non del tutto corretto.

Per tali complicazioni, risulta fondamentale organizzare e gestire azioni di controllo e pulizia in particolari momenti:

- Ad ogni inizio turno
- Ad ogni avviamento di linea
- Ad ogni cambio prodotto
- Ad ogni fine manutenzione ordinaria/straordinaria

Un'alternativa alla pulizia e al controllo, ove sia possibile, consiste nell'installare in backup fotocellule aggiuntive, da installare in parallelo in modo da offrire ridondanza e garanzia di funzionamento, pur segnalando in allarme l'avaria del componente principale.

Come è visibilmente chiaro dalla tabella sopra raffigurata, tra le principali criticità rilevate dall'approccio FMECA risaltano la mancanza di allineamento del prodotto lungo il nastro, la rottura del nastro stesso e degli attuatori pneumatici. In tal senso, una manutenzione sui cuscinetti (lubrificazione, controllo visivo sull'usura) può essere fondamentale per allungare la vita utile della componente, tramite interventi periodici e/o analisi vibrazionali per definire lo stato di usura. Per i teli e i nastri si tengono in considerazione due aspetti procedurali, tra cui intensificare le ispezioni e controllare più dettagliatamente la situazione prima di ogni avviamento. Inoltre, per evitare fenomeni di slittamento, è fondamentale rendere efficaci delle revisioni ogni sei mesi sul tamburo e sulle componenti di tensionamento.

Nel caso del rullo del nastro take off in uscita forno, l'inaccessibilità della parte in esame obbliga a somministrare attività di manutenzione predittiva tramite un'analisi vibrazionale.

Di seguito, è riportata in modo più dettagliato l'analisi tecnica eseguita per i principali modi di guasto oggetto di analisi.

IMPASTATRICI

<i>GRUPPO CRITICO</i>	<i>POSSIBILI AZIONI FUTURE</i>
Motori coclee e polmoni	Per il tipo di guasto che si risolve spesso con ripristini, non sembra efficiente implementare nuove attività di ispezione tecniche, piuttosto sono meglio procedure di pulizia e controllo per evitare intasamenti
Tubazioni CO2	Nessun evento occorso negli ultimi anni, ma anche nessun piano di manutenzione in essere. Potrebbe essere utile strutturare un piano di controllo del vuoto dell'intercapedine (che intercetta anche eventuali perdite sulla tubazione principale). Cadenza 4 anni.
Bilancia/maniche	Procedure di controllo mediante check-list all'avviamento linea

FORMATURA

<i>GRUPPO CRITICO</i>	<i>POSSIBILI AZIONI FUTURE</i>
Motori elettrici	Come controlli predittivi è possibile raggruppare 7-8 motori dell'area, e implementare piano di controlli termografici o dello stato di isolamento. Frequenza semestrale o annuale. Può essere utile perché ambiente molto umido soggetto a lavaggi. Sostituzione preventiva potrebbe essere molto onerosa.
Rulli / cuscinetti	Se l'usura sui rulli gommati è inevitabile è utile tenerla monitorata, non ci sono alternative. Se il problema è sui cuscinetti inchiodati o bloccati, si può valutare un'analisi vibrazionale o sostituzione preventiva (quest'ultima forse meglio perché sono cuscinetti di piccola taglia poco costosi). Può aver senso perché tutta la parte di formatura non ha nessuna ridondanza.
Fotocellule	Potrebbe risultare efficace programmare una sostituzione preventiva, oppure ricercare modelli più performanti o addirittura valutare un montaggio ridondato

Tensionamenti / coltello	Migliorie sulle procedure di ispezione visiva e organizzare prove a vuoto durante il turno di avviamento linea
Telo rotativa	Sono da valutare due aspetti strettamente procedurali: <ul style="list-style-type: none"> • Intensificare le procedure di ispezione e segnalazione, ad esempio ogni inizio turno. • Procedura più dettagliata per avviamento dopo lavaggio e rodaggio a vuoto del telo.

COTTURA

<i>GRUPPO CRITICO</i>	<i>POSSIBILI AZIONI FUTURE</i>
Sonde bruciatori	Da valutare una sostituzione preventiva una volta all'anno
Termoregolatori	Rappresenta un problema già conosciuto ed affrontato mediante la sostituzione massiva di tutti i regolatori che davano problemi di affidabilità per mortalità infantile.
Interruttori differenziali	È già stato intrapreso un contratto con i fornitori esterni di verifica periodica e sostituzione per i seguenti motivi:

	<ul style="list-style-type: none"> • Inadempienti da un punto di vista normativo • Effettivamente i guasti impattavano parecchio sulla produttività della linea
UPS	Sostituito con un nuovo modello, nessun evento particolare ma tema rischioso per la sicurezza
Rete forno	<p>Le valutazioni da fare sono per:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Slittamento, approfondire e rendere più efficaci i controlli manutentivi semestrali sullo stato del tamburo ed i componenti di tensionamento. • Rottura o danneggiamento: dettagliare un'unica procedura per le attività di lavaggio, ispezione visiva ed avviamento per controllare anche impuntamenti e sbandamenti.
Rullo rete e take-off	Per la criticità del componente, la difficile accessibilità e la taglia, tali cuscinetti sono ottimi candidati per una manutenzione predittiva mediante analisi vibrazionale
Estrazione fumi e QE	<p>Sono già previsti interventi a CAPEX di manutenzione straordinaria per la sostituzione di:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Moduli di sicurezza I/O • Nuovi depressostati su tutti i camini.

**TABELLA 4.3 – AZIONI PRINCIPALI DA INTRAPRENDERE PER OGNI MODO DI
GUASTO CRITICO**

Le attività da implementare nell'area delle impastatrici si risolvono principalmente con controlli visivi ed ispezioni ad inizio turno produttivo. Per incentivare in tal senso gli operativi ad alzare il livello di attenzione e supervisione sulla linea, si potrebbero definire procedure standard da seguire quotidianamente, stilando oltremodo un report sullo stato di usura delle componenti. Avendo a disposizione backup sull'area interessata, sia attraverso macchine ridondanti sia attraverso il lavoro manuale dell'operatore, risulta inefficace proporre attività che prevedono extra-costi manutentivi.

Nella fase di formatura, si distinguono diversi gruppi in base alle attività da sviluppare. Per i motori dell'area è utile valutare eventuali accorpamenti o estendere l'attività raggruppando alcuni di questi nelle aree critiche per giustificare la giornata di lavoro. Tra le azioni principali vi sono controlli termografici semestrali/annuali. Per i rulli, i cuscinetti, le fotocellule si valuta un'analisi vibrazionale e/o sostituzione preventiva.

Dal momento che le fasi di confezionamento ed incassamento non presentano punti critici, il processo di cottura del prodotto è l'ultima parte di processo da analizzare per definire strategie finali. In questo senso, si ipotizzano azioni di manutenzione predittiva per quanto riguarda i rulli e la rete del nastro take off in uscita forno, e attività preventive sulla rete del forno e le sonde dei bruciatori.

4.2.2. DEFINIZIONE COSTI – Analisi costi-benefici sulle azioni da implementare

Il risultato ottenuto tramite l'implementazione della metodologia FMECA può essere meglio interpretato effettuando un'analisi economica basata su costi e benefici sulle azioni da implementare.

Dopo aver precisamente analizzato le criticità presenti sulla linea e definito le possibili azioni future, è utile definire una voce di costo per ognuna di queste e definire la frequenza necessaria per le manutenzioni preventive.

Visualizzando ed analizzando ordini storici e contratti in essere fatti dall'azienda Barilla sui vari plant, sono stati stimati questi numeri:

- Termografia: 70 euro/motore > 20kW; 80 euro/quadro elettrico
- Analisi vibrazionale: 200 euro orari
- Costo MdO per operazioni preventive: 39 euro orari

In tal senso, i primi due dati sono relativi a future analisi predittive mentre la terza si riferisce al costo di manodopera oraria in caso di attività di manutenzione preventiva. La frequenza di quest'ultima viene fissata analizzando nello specifico l'indice MTTB prestabilito; definiti questi dati, risulta più facile determinare ogni attività futura in modo che i costi totali non superino l'esborso economico in caso di manutenzione a guasto.

GRUPPO	ATTIVITA	FREQUENZA	Tempo (H)	COSTO ANNUO	COSTO PRE
Coclee e polmoni	Pulizia e controllo	Ogni avviamento	0,25	487,50 €	645,37 €
Tubazioni CO2	Piani di controllo	Ogni 4 anni	5	48,75 €	X
Bilancia / Maniche	Pulizia e controllo	Ogni avviamento	0,25	487,50 €	623,15 €
Motori e QE	Termografia	6 mesi	X	140,00 €	156,03 €
Rulli/cuscinetti	Preventiva	4 mesi	3	351,00 €	512,44 €
Fotocellule	Preventiva	1 mese	2	936,00 €	1.128,54 €
Tensionamenti	Ispezione visiva	Ogni avviamento	0,25	487,50 €	636,84 €
Telo rotativa	Ispezione + sostit. Annuo	Ogni avviamento	0,5	2.811,86 €	3.006,21 €
Sonde bruciatori	Preventiva	1 anno	2	78,00 €	146,52 €
Rete forno	Preventiva	6 mesi	4	312,00 €	X
Rullo take off	Analisi vibrazionale	6 mesi	1	400,00 €	565,04 €

TABELLA 4.4 – DEFINIZIONE COSTI ATTUALI E FUTURI SULLE PRINCIPALI ATTIVITA'

Dalla tabella soprastante si può dedurre che ogni costo annuo per le future strategie adottabili è più basso del costo sostenuto nel corso degli anni senza aver implementato alcuna azione migliorativa.

Nello specifico, il nuovo costo annuo manutentivo non include la voce di costo relativa alla sostituzione della componente (tranne che nell'unico caso del telo della rotativa). Tale assumption è stata presa per porre l'attenzione sulla finalità principale di tali azioni: estendere la vita utile di ogni componente e ridurre la numerosità dei guasti bloccanti sulla linea.

Per concludere, si possono definire alcune note nel calcolo di tale indice di costo:

- Per le tubazioni di CO₂ e per la rete forno non ci sono stati guasti negli ultimi anni; ciò non implica che non possano accadere in seguito, e per questo saranno implementate azioni di controllo e di preventiva sulla componente
- Per il costo precedente dei motori e dei quadri elettrici è stata considerata una media aritmetica dei costi sostenuti per ogni tipologia di guasto critica. Come spiegato in precedenza un'attività termografica ha un costo di circa 70€/motore.

Discorso analogo è fatto per ottenere una base economica sui rulli e sui cuscinetti: è stata eseguita una media sul totale dei rulli critici. Per i sistemi di tensionamento sono stati presi in considerazioni esclusivamente i modi di guasti relativi ad una mancanza di allineamento del prodotto.

Possibile anche fare un riferimento di come è stata costruita la struttura del confronto costi, in particolare non sono stati considerati i costi opportunità di mancata produzione. Ovvero l'impatto economico causato dal disservizio per la sua natura di imprevedibilità senza considerare meramente la sua durata ai fini del mancato versato. Così facendo si ipotizza che le ore di mancato versato si possano recuperare in altro slot senza che ci siano impatti sull'organizzazione del lavoro, come invece può capitare nella realtà.

4.3 Conclusioni finali

4.3.1. PROBLEMATICHE. Complicazioni nello sviluppo del metodo

I principali problemi riscontrati nell'evoluzione dell'elaborato si concentrano prevalentemente sul processo di Data Cleaning. In tal senso, un elemento essenziale su cui basare la metodologia è la presenza di uno storico di dati efficiente, per poter estrapolare in maniera più completa possibile ogni informazione.

Una volta stabilito il metodo di lavoro da impiegare per ricavare più dati possibili, è stato stabilito quali fossero i guasti da cui potesse dipendere la buona riuscita dell'elaborato.

Per poter definire al meglio questo aspetto, è stata integrata alla parte di database (oggettiva) un'ulteriore parte di conoscenze tecniche da parte del

team di lavoro: questa fase ha permesso e agevolato il processo di data cleaning e velocizzato l'estrapolazione dei dati più importanti.

Dopo aver filtrato i dati ottenuti dallo storico, il lavoro del team è stato determinante per completare, in maniera più tecnica ed affidabile possibile, l'albero WBS con le componenti non andate a guasto nel periodo di riferimento.

Oltre alle competenze tecniche, è stata aggiunta l'esperienza dei principali operatori di linea, che hanno raccomandato e consigliato soggettivamente, quali fossero i punti critici.

L'insieme di informazioni dedotte da ogni input sono state analizzate e hanno fornito un ottimo aiuto come base per l'inizio della metodologia.

Una tematica da non sottovalutare è relativa al lasso temporale su cui è stato discusso il progetto: come spiegato in precedenza, il lavoro di data cleaning ha comportato gravi dispendi di tempo; a ciò si aggiunge una disponibilità delle risorse non sempre presenti quotidianamente, per priorità maggiori all'interno dello stabilimento. Il tempo disponibile è stato attorno ai 5/6 mesi di lavoro: da questo dato è facilmente deducibile come l'implementazione del metodo abbia occupato la maggior parte del timing. Risulta perciò complicato riuscire ad intraprendere azioni nell'immediato ed ottenere dati chiari già dagli sviluppi.

In particolare, molte delle attività pianificate sono migliorative/preventive e si sviluppano su un lasso di tempo semestrale o annuale.

4.3.2. CONCLUSIONI. Output finale e sviluppi futuri

Per quanto appena spiegato, è difficile avere un rendiconto delle attività intraprese, perlomeno nel breve periodo.

L'obiettivo finale è stato quello di consegnare al team di lavoro un progetto in cui si sono stabiliti i livelli di criticità e di rischio sulla linea. L'analisi effettuata ha rilasciato un output di dati affidabili, sia in ambito tecnico, che in campo gestionale ed economico. Nello specifico sono state aggiunte informazioni dell'azienda, come i valori di termografia, di manodopera diretta e le ore di manutenzione sulla componentistica. In generale, si nota come molti risultati ottenuti corrispondono ad aspetti già presi in considerazione dall'azienda in passato e già previsti in calendario come interventi futuri. In tal senso, si riconosce una veridicità a quanto eseguito in questo elaborato.

In conclusione, l'elaborato non corrisponde ad un progetto fine a se stesso: la metodicità utilizzata, i dati estrapolati, i punti su cui ci si è focalizzati rappresentano solamente degli input per poter analizzare altre linee di produzione mediante l'approccio FMECA. Questo elaborato, inoltre, può rappresentare un inizio concreto verso il mondo del Condition Monitoring: inizializzare una fase di manutenzione predittiva su componenti elementari può dare il via ad un processo manutentivo sempre più considerato nella policy Barilla, finora troppo ancorata alla manutenzione preventiva ciclica. Lo sviluppo, implementabile anche su altre linee, può rappresentare nuove possibilità per l'azienda, ottenendo ottimi guadagni in termini di KPI produttivi.

Personalmente, sostengo che per arrivare ad effettuare un cambio di rotta nell'industria 4.0 è necessario partire da ottime basi: sistemi di dati efficienti

ed affidabili, nonché completi di ogni informazione utile da poter sfruttare al meglio, rappresentano il primo step indispensabile da cui partire.

SITOGRAFIA

- <https://www.atlassian.com/it/incident-management/kpis/common-metrics>
- <https://biblus.acca.it/matrice-di-rischio-cose-e-a-cosa-serve/>
- <https://www.archivistoricobarilla.com/esplora/focus/storie-aziendali/barilla/storia-barilla/>
- <https://tecno4industry.it/manutenzione-predittiva-vs-preventiva/>
- <https://www.certifico.com/chemicals/documenti-chemicals/221-documenti-riservati-chemicals/6447-risk-analysis-le-tecniche-qualitative-fmeca-hazop-fta>
- <https://fabbricadigitale40.it/it/insight/news/372-fmeca-l-analisi-di-processo-e-di-manutenzione-industriale>
- <https://www.hbkworld.com/en/knowledge/resource-center/articles/failure-modes-effects-and-criticality-analysis>
- <https://www.internet4things.it/industry-4-0/condition-monitoring-che-cose-e-perche-serve-alla-predictive-maintenance/>
- <https://asana.com/it/resources/work-breakdown-structure>
- <https://my.liuc.it/MatSup/2011/CPS006/Slide%20Prof.%20Banfi%20-%20fmeca%20cops18.pdf>

BIBLIOGRAFIA

- “Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi” (2022) di Luciano Furlanetto, Marco Garetti, Marco Macchi
- “Principi generali di gestione della manutenzione” (2022) di Luciano Furlanetto, Marco Garetti, Marco Macchi
- “FMEA. Il rischio tecnico industriale” (2018) di Pierluigi Belcar