



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA MECCANICA

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**REALIZZAZIONE E AVVIAMENTO DI UN
SISTEMA DI INGEGNERIA DI
MANUTENZIONE INDUSTRIALE**

Relatore: Prof. Paolo Tenti

Laureando: MATTIA MARTIN

ANNO ACCADEMICO 2018 - 2019

Riassunto

In questo progetto di tesi viene affrontato un metodo per rendere possibile l'introduzione di un sistema di ingegneria di manutenzione industriale in un sistema produttivo di medie dimensioni rappresentato, in questo caso, dall'azienda Orion Spa. Lo scopo del lavoro è quello di poter ottimizzare i costi della manutenzione, attraverso una gestione ordinata degli interventi e dei pezzi di ricambio.

Per poter soddisfare tali richieste è stato necessario operare scomposizioni e codifiche dei macchinari, eseguire analisi FMECA di criticità su ciascun elemento, creare degli storici dei guasti, ed infine generare ordini di manutenzione così da poter intervenire in modo efficace ed ordinato sulle macchine. Ci si è avvalsi del software di gestione Prometeo Manutenzione come supporto alle attività di scomposizione delle macchine e generazione degli ordini di manutenzione.

I risultati raggiunti sono stati soddisfacenti. Attualmente si può contare, sicuramente, su una miglior visione d'insieme del reparto di produzione e delle sue macchine. Al momento sono in corso gli studi per stabilire le politiche di manutenzione sui diversi componenti e si sta procedendo con l'inventario degli stessi, azioni che contribuiranno alla creazione, in poche settimane, di una prima idea di budget di spesa da destinare al settore manutentivo.

Indice

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1	3
PRESENTAZIONE DELL'INGEGNERIA DELLA MANUTENZIONE	3
1.1 Panoramica e concetti generali della manutenzione	3
1.1.1 Manutenzione correttiva	4
1.1.2 Tempo di intervento	5
1.1.3 Manutenzione preventiva	7
1.1.4 Manutenzione ciclica	9
1.1.5 La gestione dei ricambi	10
1.1.6 Manutenzione su condizione e predittiva	11
1.2 La manutenzione in campo ingegneristico	13
1.2.1 Funzione richiesta	13
1.2.1.1 Affidabilità	13
1.2.1.2 Disponibilità	14
1.2.1.3 Manutenibilità	15
1.2.1.4 Relazione tra le tre proprietà	17
1.2.2 Tasso di guasto λ	19
1.3 Introduzione della manutenzione in un contesto aziendale	24
CAPITOLO 2	27
PRESENTAZIONE DI ORION SPA E DEL PIANO DI INTERVENTO	27
2.1 Presentazione dell'azienda	27
2.2 Organizzazione della produzione all'interno di Orion Spa	29
2.3 Complessità produttive	30
2.3.1 Fermate del sistema	33
2.4 Obiettivi del sistema di manutenzione	36
2.5 L'analisi FMECA	38
2.5.1 Livello di scomposizione	39
2.5.2 Modi di guasto	39
2.5.3 Frequenze di guasti	40
2.5.4 Analisi degli effetti dei modi di guasto	41
2.5.5 Misura degli effetti dei modi di guasto	41
2.5.6 Misura della criticità dei modi di guasto	42
2.5.7 Interventi correttivi	42

2.5.8 Aspetti operativi	42
CAPITOLO 3	45
SCOMPOSIZIONE DELL'ISOLA DI LAVORO E OBIETTIVI DELLA FMECA	45
3.1 Descrizione dell'isola di lavoro	45
3.2 Scomposizione e codifica dei macchinari	47
3.2.1 Scomposizione dei macchinari dell'isola di lavoro	49
3.2.2 Codifica dei macchinari dell'isola di lavoro	50
3.3 Analisi FMECA del sistema produttivo	53
3.3.1 Analisi di criticità	54
3.3.1.1 Descrizione del guasto	55
3.3.1.2 Numerosità del componente	55
3.3.1.3 Frequenza prevista del guasto	55
3.3.1.4 Effetto sull'impianto	55
3.3.1.5 Effetto sul prodotto	57
3.3.1.6 Durata della fermata	57
3.3.1.7 Indisponibilità ore/anno	58
3.3.1.8 Indice di criticità	58
3.3.2 Analisi delle cause	60
3.3.3 Analisi manutenzione correttiva	61
CAPITOLO 4	63
AVVIAMENTO DELLA GESTIONE DELLA MANUTENZIONE	63
4.1 Studio delle macchine e analisi delle problematiche iniziali	63
4.2 Basi del progetto e creazione degli obiettivi	66
4.2.1 Operazioni iniziali	67
4.3 Avviamento del sistema informatizzato per la gestione della manutenzione	69
4.3.1 Utilizzo iniziale del software	69
4.3.2 Classe dei componenti di ricambio	73
4.4 Analisi FMECA dell'isola di produzione e scelta delle politiche manutentive	74
4.5 Piani di lavoro e ordini di manutenzione	75
CONCLUSIONI	79
APPENDICE A: SCOMPOSIZIONE E CODIFICA DEI MACCHINARI	83
APPENDICE B: ANALISI FMECA DELLE MACCHINE	111
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	141

Introduzione

Questo progetto di tesi nasce dall'esigenza dell'azienda Orion Spa di Bagnoli di Sopra di introdurre e avviare un efficiente piano di gestione della manutenzione industriale nei suoi stabilimenti produttivi.

Tale esigenza scaturisce dalla volontà stessa dell'azienda di crescere non solo esternamente, ma anche al proprio interno, valorizzando le proprie risorse e cercando di gestire al meglio le proprie potenzialità nel mercato.

Come si evidenzierà nel corso dell'elaborato, l'introduzione di un'attenta gestione della manutenzione porta ad innumerevoli vantaggi come, ad esempio, la diminuzione dei fermi macchina, vantaggio evidente nell'ottica di grandi produzioni e di turni di lavoro continui. Questa diminuzione viene in parte sostituita da interventi mirati, preventivati e gestiti in modo tale da essere quanto più brevi possibili. Ne derivano benefici a livello innanzitutto di produzione, di tempi ottimizzati, di forze produttive maggiormente organizzate. Ecco quindi che l'azienda può effettivamente comprendere quali siano le sue potenzialità e di conseguenza entrare e proporsi in modo migliore anche su nuovi mercati.

Il progetto fonda le sue motivazioni nel raggiungimento di obiettivi concreti che si traducono brevemente nell'ottimizzazioni dei costi della manutenzione, nell'aumento delle disponibilità produttive dei macchinari, nel rispetto dei programmi di produzione, nella gestione della vita delle macchine, nella creazione di un budget annuale da mettere a disposizione degli interventi manutentivi.

Questi obiettivi trovano ampio margine di discussione all'interno dell'elaborato ed essenzialmente tendono tutti al medesimo fine sebbene con sfaccettature diverse: ottimizzare costi e tempi della manutenzione così da garantire la massima produzione e, di conseguenza, i maggiori ricavi dall'attività produttiva.

Il progetto di manutenzione nasce basandosi su qualche dato derivante da vecchi piani di manutenzione. Tuttavia è stato necessario inizialmente familiarizzare con alcuni concetti base della manutenzione, termini specifici e linguaggio tecnico. L'elaborato, costituito di quattro capitoli, segue fedelmente quanto fatto. Inizialmente, nel primo capitolo, ci si concentra maggiormente su aspetti di carattere teorico. Successivamente, nel secondo capitolo, si presenta l'azienda e il sistema in cui si è operato. Nel terzo e quarto capitolo si procede all'esposizione di quanto è stato effettivamente svolto presso l'azienda. Si riportano parte dei risultati ottenuti nelle due appendici finali, le quali appunto mostrano effettivamente il risultato delle operazioni descritte negli ultimi due capitoli.

Si sottolinea inoltre che parte delle attività svolte sono state affrontate attraverso l'uso di un software dedicato alla manutenzione di impianti industriali: Prometeo Manutenzione.

Capitolo 1

Presentazione dell'ingegneria della manutenzione

Questo primo capitolo ha come scopo quello di presentare e approfondire il concetto di manutenzione e, inoltre, di esporre e giustificare come l'introduzione di un progetto di ingegneria della manutenzione all'interno di un'azienda possa sicuramente rappresentare un vantaggio non banale per aumentare la disponibilità delle attrezzature produttive e poter tenere sotto controllo i costi. Ne deriva quindi una maggiore efficacia dell'organizzazione della produzione e, nello stesso momento, un'attribuzione congrua dei margini sui beni prodotti.

1.1 Panoramica e concetti generali della manutenzione

Nel suo aspetto più basilare, il concetto di manutenzione rispecchia la volontà di conservare e mantenere in stato di piena efficienza i beni strumentali, sia impianti e macchinari, sia infrastrutture. Tuttavia, così presentata, l'attività manutentiva sembra potersi esaurire al semplice intervento correttivo che, chiaramente, deve essere eseguito nell'eventualità che si verifichi un guasto o vi sia una qualunque problematica che si manifesti con effetti tangibili e oggettivi, come può essere un blocco della produzione nel caso di rottura di un macchinario o di un suo componente. In realtà, il concetto di manutenzione è molto più ampio come si può vedere in Figura 1.1.

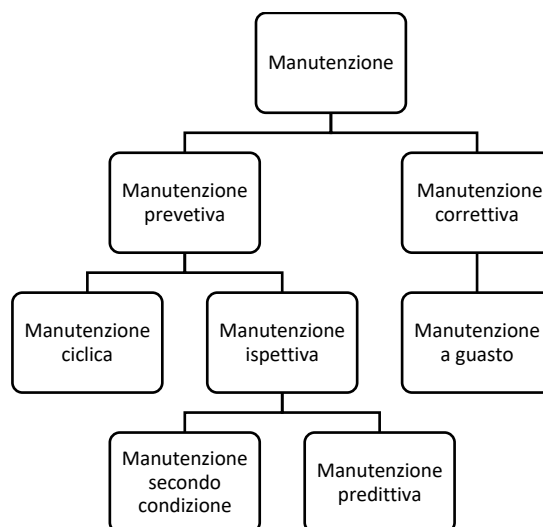


Figura 1.1: Schema ad albero delle diverse modalità di manutenzione

1.1.1 Manutenzione correttiva

La manutenzione correttiva si produce in risposta ad un evento il cui effetto è quello di impedire, a diversi livelli di gravosità, il proseguimento di una attività, o l'interruzione di un servizio, o il degrado del servizio stesso che dunque non può più essere erogato con un adeguato livello di sicurezza o efficienza. Detto in altro modo, l'approccio di manutenzione correttiva prevede che l'attività venga mantenuta in esercizio fintanto che si giunga al manifestarsi del guasto. Il necessario intervento di manutenzione ha quindi l'obiettivo di riparare l'entità e ripristinare le condizioni iniziali di funzionamento nel minor tempo possibile.

I vantaggi legati a questo tipo di manutenzione sono diversi. Innanzitutto, aspetto semplice ed immediato, questa modalità è di fatto concettualmente basilare e quindi "alla portata di tutti". Infatti, si basa sul binomio rottura – riparazione: se un qualcosa, che è necessario per il proseguimento della produzione, si rompe, lo si ripara per permettere la ripresa dell'attività. Altro merito della manutenzione correttiva è che nella quasi totalità dei casi è una manutenzione anche migliorativa. Ciò significa che se un pezzo cede per questioni di carico eccessivo, lo si sostituirà con un componente il cui spessore o la cui forza di sopportazione dei carichi è maggiore, prendendo magari in considerazioni anche componenti creati con materiali differenti. Non ultimo, altro vantaggio è certamente quello di poter contenere i costi, essendo il costo variabile nullo (la riparazione avviene solo al guasto).

Questo tipo di manutenzione presenta tuttavia anche alcuni svantaggi. Non è infatti possibile prevedere il verificarsi stesso del guasto, evento che potrebbe portare a complicazioni impreviste e improvvise. Inoltre, per far fronte a tutti i possibili guasti, risulta necessario ampliare il magazzino ricambi per poter garantire l'efficacia dell'intervento manutentivo. Infine, non è possibile programmare con precisione l'utilizzo delle squadre di manutenzione, il cui lavoro è soggetto alla variabilità degli interventi da svolgere.

Fin da subito, tuttavia, è bene far presente che non esiste solo una manutenzione di tipo correttivo, chiamata anche manutenzione al guasto (Figura 1.1). Il concetto di manutenzione che si ferma allo stadio di manutenzione correttiva è un concetto troppo basilare, quasi banale e che non porta a grandi benefici, né dal punto di vista aziendale, né da quello della manutenzione stessa. Pensando infatti ad un sistema che fonda la propria logistica e strategia aziendale su un programma correttivo, è facile immaginare che, in un tempo più o meno breve, le squadre di manutenzione saranno soggette ad una altalena continua di periodi di lavoro in cui gli interventi sono pressoché nulli, ad esempio il caso in cui i macchinari siano nuovi o appena riparati, e periodi in cui la quantità di lavoro risulta essere tale da impedire la corretta gestione di tutti gli interventi, evento che si verifica se i macchinari sono già abbastanza datati o comunque in opera da un periodo di tempo

considerevole. Nel caso poi in cui vi siano numerosi macchinari, gli interventi di manutenzione si moltiplicano.

Spesso, tuttavia, un aumento delle risorse finalizzate alla produzione non è accompagnato da un adeguato aumento del personale e delle risorse dedicati alla manutenzione. Il risultato immediato che si produce è un accumularsi degli interventi di manutenzione non completati o completati in modo parziale. Ciò è dovuto ad un fatto basilare: l'attività dei manutentori si concentra su quelli che sono gli interventi nevralgici per la catena di produzione, ossia quegli interventi che permettono, una volta risolti, di poter procedere con le lavorazioni e, dunque, permettere all'azienda di compiere e soddisfare quella che è la sua missione principale: "produrre". Inoltre, se il numero di manutentori non fosse adeguato all'esigenze degli impianti, ecco che i tempi d'intervento si dilaterrebbero ben oltre quelli necessari alla risoluzione del problema qualora si potesse intervenire fin da subito in modo efficace.

Questa modalità manutentiva, quindi, è utilizzata come strategia aziendale di manutenzione in modo raro o viene attribuita solo a pezzi particolari, molto costosi o che si prevede non debbano guastarsi nel periodo di vita della macchina completa.

Si scopre dunque che, a differenza di quello che si potrebbe comunemente pensare, è molto più raccomandabile, spesso, analizzare a fondo quelle che vengono dette, in gergo tecnico, micro-fermate. Queste sono, il più delle volte, il campanello d'allarme di un problema che, se trascurato, può portare a problemi ben più gravi. Ovviamente, non si vuole affermare che non si debba prestare attenzione anche a quei guasti che effettivamente creano disagi all'impianto stesso, fermandolo, piuttosto si suggerisce di fare attenzione anche a ciò che molto spesso è trascurato quando, invece, meriterebbe il giusto tempo per essere analizzato e valutato. Effettivamente, nella maggior parte dei casi, una riparazione svolta in maniera frettolosa o parziale, chiamata anche manutenzione tampone, sarà sicuramente fonte di un successivo guasto, probabilmente più grave del primo. Il che porta, a pensarci bene, ad un assurdo: dovendo eseguire la stessa attività manutentiva due o più volte sul medesimo componente, alla fine, il tempo in cui effettivamente il macchinario rimane fermo, e quindi non produce, è sicuramente maggiore di quello che si sarebbe impiegato qualora il primo intervento di manutenzione fosse stato eseguito correttamente, con le giuste tempistiche e con la risoluzione completa del problema.

1.1.2 Tempo di intervento

È bene sottolineare che spesso sfugge un elemento sottile ma molto importante che è il computo dei tempi complessivi per la gestione del tempo complessivo.

Il tempo totale di fermata è il tempo che inizia con il verificarsi del guasto e termina con la riattivazione dell'impianto o del macchinario, mentre il tempo dell'intervento di

manutenzione è solamente una parte del tempo totale della fermata ed è associabile al tempo impiegato dai manutentori nell'eseguire la riparazione. Vien da sé che, quanto più vi è differenza tra i due intervalli di tempo, tanto maggiore risulta il tempo impiegato per la ricerca dei ricambi, tempi di consegna e attesa dell'inizio dell'intervento stesso.

Si vuole dunque riproporre la suddivisione dei tempi in accordo con la norma UNI EN 13306 e che appare in Figura 1.2:

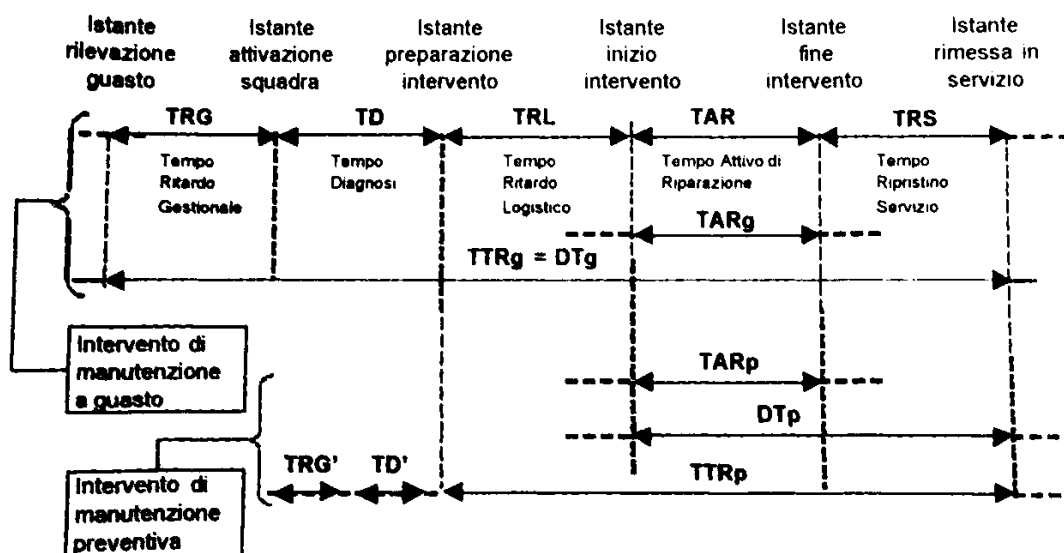


Figura 1.2: Divisione del tempo totale di fermata in un intervento di manutenzione

Il significato della simbologia in figura è il seguente:

- TGR, tempo di ritardo gestionale, tempo che trascorre dall'insorgere dell'esigenza dell'intervento manutentivo all'inizio di attivazione delle prime azioni operative. Vi sono compresi i tempi per i tentativi di ripristino da parte della produzione ed i tempi di chiamata e attesa della manutenzione;
- TD, tempo di diagnosi, tempo per l'analisi dell'avarìa;
- TRL, tempo di ritardo logistico;
- TAR, tempo attivo di riparazione, tempo necessario per l'esecuzione delle opere di intervento, come smontaggio, reperimento delle parti di ricambio, sostituzione parti danneggiate e montaggio;
- TRS, tempo di ripristino del servizio, tempo che intercorre tra la fine delle operazioni di manutenzione ed il momento in cui l'entità riprende a funzionare. Comprende i tempi di collaudo e riavvio;
- TTRg, tempo totale di riparazione a guasto, o anche DTg, Down Time a guasto;
- TTRp, tempo totale di riparazione preventiva, o anche DTp, Down Time preventivo (nel prossimo paragrafo sarà presentata la manutenzione preventiva).

Come sarà spiegato successivamente, anche la gestione dei ricambi rientra nelle responsabilità di una corretta manutenzione. Si analizzerà come, per l'impresa, non è economicamente possibile tenere a magazzino tutta la componentistica di ricambio. Si è soliti tenere le parti della macchina che più spesso sono soggette a guasto.

Risulta evidente tuttavia che, in un sistema governato con manutenzione di tipo correttivo, in cui la gestione dei ricambi prevede in realtà una sorta di sistema non-gestito, poiché si cerca di avere a magazzino tutto ciò che si ritiene necessario per poter far fronte ad un eventuale guasto, in un'ottica di garanzia della continuità produttiva, vi è un accumulo incontrollato di ciò che si reputa indispensabile, da parte del manutentore, per la manutenzione ma che, di fatto, potrebbe anche non esserlo. L'esigenza della necessità della risoluzione del problema si scontra con la dilatazione del magazzino: se da una parte si cerca di limitare i costi dovuti ai fermi macchina e blocchi della produzione, dall'altra, non sapendo quale potrebbe essere il guasto futuro, si rimedia tenendo a scorta moltissimi pezzi, che tuttavia rappresentano spese notevoli a livello aziendale.

Da questa breve riflessione, dunque, si comprende bene come criteri di gestione migliore debbano confrontarsi con l'esigenza di trovare un giusto compromesso tra la necessità di ripristino della linea produttiva e l'immobilizzazione di capitale a magazzino sotto forma di ricambi.

1.1.3 Manutenzione preventiva

In alternativa, e spesso per prevenire attività di manutenzione correttiva, si possono dunque adottare altre modalità di manutenzione, volte ad un sistema di tipo programmato, che cerca di evitare l'insorgere del guasto, prevedendolo e correggendolo prima che si verifichi. Questi interventi programmati sono alla base di quella che viene chiamata manutenzione preventiva, che, in primis, vorrebbe avere il vantaggio di limitare ciò di cui si è appena discusso, ossia il tempo totale dell'intervento (Figura 1.2).

In questa particolare metodologia di manutenzione si preferisce sostituire un componente prima che arrivi a rottura, sacrificando una parte della sua vita utile avendo però la certezza di garantire la continuità del processo di lavorazione o produzione. Le attività manutentive cercano di essere programmate in modo tale che si possa considerare altamente improbabile il verificarsi del guasto per cui si opera in modo preventivo.

Questa tipologia di manutenzione però, a differenza di quella vista fino ad ora, non è così intuitiva, anzi, prima di poter essere implementata richiede uno studio attento del tipo e della causa del guasto a cui va in contro la macchina o l'impianto. La differenza tra tipo di guasto e causa di guasto è sostanziale:

- Il tipo di guasto indica, per l'appunto, cosa si è rotto o quale elemento è andato in avaria. Evidenzia dunque l'oggetto che necessita la manutenzione

- La causa del guasto invece cerca di evidenziare qual è stata la motivazione che ha portato a provocare il guasto medesimo

La differenza, quindi, consta nel fatto che, per una particolare tipologia di guasto, si possono avere diverse cause che portano alla rottura o mal funzionamento dello stesso componente. È fondamentale quindi conoscere tutte le diverse cause di guasto di un determinato componente o macchinario perché ci potrebbero essere modalità diverse che permettono di prevenire il danno, e quindi azioni correttive differenti che devono essere messe in atto.

Volendo fare un semplice esempio si può pensare ad un forno a microonde. Il cibo riesce ad essere scaldato a patto che, una volta impostato il timer sul tempo di cottura desiderato, siano soddisfatte contemporaneamente due condizioni: vi sia il collegamento, mediante l'apposito cavo, alla rete elettrica e che la porta del microonde sia chiusa. Se una volta impostato il timer e soddisfatte le due condizioni, il microonde non si accende si possono pensare due cose:

1. La porta non chiude bene e dunque l'elettrodomestico la "legge" come aperta;
2. L'allacciamento alla rete elettrica non funziona, o per mancanza stessa di corrente o per guasto del cavo.

Ecco dunque che si presenta lo stesso tipo di guasto, che potrebbe semplicemente essere indicato come "il microonde non funziona/ non si accende", però due possibili cause del guasto medesimo. Sarà cura del manutentore comprendere quale tra le due possibilità è la causa del mancato funzionamento e, dunque, operare di conseguenza. Nel primo caso si dovrebbe sostituire il sensore che "legge" la porta come chiusa o cambiare la porta qualora fosse danneggiata, nel secondo capire se manca la corrente o se deve essere sostituito il cavo. Si può subito notare che, anche nella causa stessa del guasto, possono esserci, a sua volta, correzioni differenti che possono essere adottate, e dunque cause primarie differenti che, risolte, possono portare alla soluzione del problema originale.

In questo particolare caso la manutenzione si attiva nel momento in cui viene meno la funzione dell'elettrodomestico. In un impianto industriale, però, spesso i guasti sono ripetitivi, o meglio, interessano quasi sempre gli stessi componenti. Si è evidenziato come, in realtà, i componenti soggetti al guasto siano solamente una piccola frazione rispetto alla totalità delle parti di un macchinario, e che questi componenti siano quelli che causano la maggior parte dei problemi. Identificando dunque questi componenti ed escogitando metodologie adeguate di intervento risulta più facile prevenire i guasti senza necessariamente aspettare che si verifichino.

1.1.4 *Manutenzione ciclica*

Un primo metodo di intervento, il più semplice da immaginare e il più facile da applicare, è quello della manutenzione ciclica, ossia una tecnica che prevede la sostituzione programmata di un componente dopo uno specificato periodo di tempo.

Nei guasti dovuti a problemi di usura, per esempio, è buona norma monitorare il tempo di vita utile del componente e operare di conseguenza nella programmazione degli interventi. Per i componenti di questo tipo, infatti, sono spesso presenti nei manuali di manutenzione i dati relativi alla possibilità che il componente ha di rompersi in base alla sua età, al numero di ore di lavoro, o al numero di giri fatti. Questo dato viene chiamato probabilità di guasto e viene identificato con la lettera λ . La probabilità di guasto è nulla ($\lambda=0$) quando il componente è nuovo o appena sostituito, e, naturalmente, cresce con il tempo e l'uso del componente. La modalità di manutenzione che si adotta in questo caso è quella di scegliere una probabilità minima per cui si possa accettare l'insorgere del guasto, probabilità che è legata a un valore di λ , e determinare così un periodo di tempo dopo il quale, anche se il componente non si è guastato o rotto, si preveda alla sua sostituzione. Le modalità di intervento che a questo punto è possibile attuare sono due:

- 1- A data costante, ossia si adotta un intervallo fisso di tempo tra un intervento di sostituzione preventiva e quello successivo, indipendentemente da ciò che succede durante l'intervallo (non c'è quindi un cambio di politica anche se si verificasse un intervento di tipo correttivo nell'intervallo);
- 2- A età costante, ossia il componente è sostituito quando raggiunge una determinata età di servizio (computabile in ore o giorni di esercizio effettivo). In questo caso, qualora fosse necessario intervenire in modo correttivo in risposta ad un guasto, la vita utile del componente comincia ad essere conteggiata dal momento stesso in cui il pezzo è sostituito.

In questo modo, ciclicamente appunto, si effettuano interventi di manutenzione il cui obiettivo è quello di evitare l'insorgere di un danno che porterebbe, ancora una volta, al blocco della produzione. Questa politica di manutenzione viene messa in atto, come si può facilmente dedurre, qualora si voglia cercare di garantire un grado di affidabilità della macchina elevato. Il grado di affidabilità di un macchinario indica la probabilità che il macchinario ha di funzionare correttamente in un intervallo prestabilito. Una manutenzione di tipo ciclico solitamente ha lo scopo di riportare il macchinario a una condizione che si definisce "as good as new". Ciò sta a significare che, dopo ogni intervento manutentivo, il livello di affidabilità della macchina è considerato pari al livello di affidabilità che la stessa possiede quando è nuova, ossia il 100%. In effetti tali interventi di manutenzione vengono svolti appunto per prevenire l'insorgere di possibili guasti all'interno dei periodi di tempo che dividono due interventi successivi. Ecco quindi che una politica di questo tipo si sposa con le esigenze dei settori in cui la sicurezza risulta fondamentale come quello aerospaziale

e aeronautico. In questi casi, infatti, si considera risparmio non tanto il fatto del costo del singolo pezzo, quanto la programmabilità e la massima efficienza nell'esecuzione degli interventi manutentivi.

1.1.5 La gestione dei ricambi

Il problema nel creare un sistema di manutenzione preventiva è che risulta necessario un periodo di tempo medio-lungo, che può durare mesi se non anni, prima che si possano davvero vedere tutte le tipologie di guasto interessanti e dunque stabilire gli intervalli di manutenzione preventiva. Questo è dovuto al fatto che bisogna innanzitutto identificare i pezzi critici di tutti i macchinari, studiarne le caratteristiche e le problematiche, determinare i tempi di intervento e la gestione degli interventi stessi, comprendere quali sono le disponibilità a livello di personale ma anche di magazzino.

In effetti, compito della manutenzione, come detto in precedenza, è anche quello di tenere sotto controllo la gestione dei ricambi. Questo tipo di gestione deve essere effettuato con criterio, ossia bisogna valutare quelli che risultano essere ricambi critici per la produzione e quelli che, invece, possono essere considerati non fondamentali. Solitamente un ricambio è considerato critico se non può essere disponibile in tempi brevi dal momento in cui si verifica il guasto. Vi è tuttavia una precisazione da fare poiché, in realtà, la definizione di ricambio critico varia da azienda a azienda. Basti pensare al fatto che lo stesso componente può essere considerato fondamentale o meno a seconda che un'azienda lavori a ciclo di produzione continuo (tre turni) o a turno unico. In caso di blocco della produzione per il medesimo problema, le perdite per il primo impianto risulterebbero molto più elevate qualora il tempo di intervento si estendesse oltre l'orario di cambio turno.

Una gestione sensata dei componenti prevede quindi il capire quali siano i ricambi che è meglio tenere a magazzino e quali invece possono essere tenuti presso il fornitore, ed eventualmente acquistati al momento del guasto. Non ha senso, per esempio, tenere a magazzino il ricambio di un motore principale di un macchinario. Questo perché sicuramente il motore avrà un costo non indifferente, inoltre, tenendolo a magazzino per un periodo di tempo prolungato, se ne causa degrado naturale, che potrebbe comprometterne il funzionamento qualora se ne avesse bisogno. È più conveniente e saggio accordarsi con il fornitore sulla disponibilità e sui tempi di consegna qualora il motore della macchina dovesse guastarsi.

Ragionando sulla gestione dei ricambi si capisce come una politica di manutenzione preventiva sia fortemente costosa. Infatti, la necessità di sicurezza si scontra con il costo. Cambiare un pezzo dopo un determinato periodo prestabilito significa, come detto, rinunciare a parte della sua vita utile e, dunque, a parte del tempo di ammortamento del prezzo del componente medesimo. Sebbene dunque la manutenzione preventiva porti ad indubbi vantaggi come la riduzione dei tempi di fermo impianto o la riduzione dei costi di

non produzione, vi sono alcuni svantaggi, come ad esempio l'aumento dei costi per interventi di manutenzione potenzialmente non necessari o la sostituzione di componenti che effettivamente potrebbero essere ancora operativi, che spingono verso la ricerca e l'implementazione di altre modalità manutentive più sottili ma anche più efficaci.

1.1.6 Manutenzione su condizione e predittiva

Attraverso l'esperienza e il miglioramento delle attività di manutenzione si è giunti a definire una più efficiente modalità di effettuare gli interventi di manutenzione. Si definisce così la manutenzione su condizione, la quale rappresenta una miglioria rispetto alla manutenzione di tipo preventivo. Tale miglioria si riscontra proprio nella vita utile del componente: se nella manutenzione preventiva parte della vita utile del componente non viene sfruttata, il concetto che sta alla base della manutenzione su condizione è proprio quello di poter sfruttare al completo le potenzialità del componente.

Per adottare questa metodologia è necessario evidenziare e captare sui diversi componenti quelli che in gergo tecnico vengono chiamati "sintomi premonitori".

I "sintomi premonitori" sono segnali che, solitamente, la macchina o il sistema comunicano prima che avvenga il guasto effettivo e possono essere di tipo visivo, sonoro o anche olfattivo. Questi segnali sono riconoscibili perché non fanno parte della normale attività del macchinario o del sistema, sono segnali del tutto estranei e che spesso mettono in allarme. Le prime volte che si verificheranno non sarà possibile decretare a cosa corrispondano questi segnali se non fino a quando non si verifica effettivamente il guasto. Compito del manutentore sarà però quello di memorizzare e successivamente sfruttare questa conoscenza qualora il segnale si verificasse nuovamente durante le fasi di lavorazione. In questo caso infatti, il manutentore, memore del precedente guasto, sarà in grado di intervenire con efficacia prima che si raggiunga l'effettiva rottura del componente. Da qui si può comprendere perché questo tipo di manutenzione si chiami manutenzione su condizione: l'attività manutentiva viene resa necessaria qualora cambi la condizione del componente, il quale passa dalla condizione operativa normale ad una condizione di preguasto, la cui conseguenza è proprio il verificarsi del segnale premonitore. Riassumendo dunque, il concetto alla base della politica su condizione è quello di non compiere alcun tipo di manutenzione finché le condizioni operative restano stazionarie.

I vantaggi rispetto ad una manutenzione preventiva sono evidenti. Innanzitutto, il periodo di vita utile del componente è sfruttato nella sua totalità, evitando sostituzioni di componenti che non si trovavano ancora in uno stato di avaria. Inoltre, è possibile creare un ambiente di collaborazione tra i diversi reparti della produzione. Infatti, bisogna pensare che il manutentore non può cogliere i segnali premonitori della macchina, poiché non sarà sempre impegnato a lavorare con questo macchinario. Coloro che hanno il compito di individuare tali segnali sono i lavoratori stessi che lavorano a contatto con il dato

macchinario ogni giorno. Sono loro che, attraverso la pulizia dello stesso e il continuo lavoro, possono possedere una sua più profonda conoscenza e individuarne quindi eventuali anomalie nella lavorazione o nel comportamento. Ricontrati quindi fattori anomali, l'operatore chiamerà il manutentore, il cui compito sarà quello di collegare il segnale captato con la soluzione manutentiva adeguata.

Una evoluzione della politica manutentiva secondo condizione è la politica di manutenzione chiamata predittiva, nella quale le variazioni delle condizioni di lavoro vengono evidenziate attraverso ispezioni effettuate mediante l'uso di sensori o macchinari specifici. La manutenzione di questo tipo infatti si avvale di analisi di temperatura, pressione, portata, ultrasuoni, vibrazioni e molte altre. Per poter quindi individuare la presenza di difetti o modifiche delle condizioni di lavorazione sono necessari interventi di analisi e ispezione mirati e programmati. Il concetto di fondo rimane sempre il medesimo, ossia l'intervento si effettua solamente in condizioni in cui si verifichi una variazione delle condizioni nominali di lavoro. A differenza però della manutenzione su condizione, la quale, verificatasi una variazione delle condizioni operative nominali, procede direttamente alla sostituzione del pezzo, la manutenzione predittiva si basa su modelli matematici, i quali, dopo aver rilevato il sintomo del guasto, prevedono il tempo dopo il quale esso si manifesterà concretamente. La manutenzione di questo tipo quindi ha il vantaggio di poter permettere l'organizzazione dell'intervento con anticipo, dando la possibilità di procurare i giusti componenti e organizzare il lavoro dei manutentori.

In conclusione, i vantaggi delle due modalità di manutenzione sono di una ottimizzazione dei costi, di un miglior controllo delle attività della manutenzione (poiché vengono fatti quelli realmente necessari), di accumulare e trasferire le conoscenze accumulate attraverso gli interventi di ispezione. Tuttavia, anche in questo caso, vi sono anche svantaggi, legati soprattutto al costo della strumentazione, software dedicato e dei sensori, della formazione degli operatori che devono divenire operatori specializzati.

1.2 La manutenzione in campo ingegneristico

Analizzando ciò che si è presentato nel precedente paragrafo, si può capire come la manutenzione e le sue diverse aree di investigazione siano un argomento molto vasto, quasi dispersivo. A livello ingegneristico ciò non si può tollerare, poiché, senza una traccia comune, verrebbero lasciate ai responsabili della manutenzione troppe libertà su come intervenire e operare. Risulta per questo motivo necessaria una raccolta e standardizzazione di termini e concetti, affinché sia possibile confrontarsi su questo tema così ampio senza cadere in errore o interpretazioni distorte.

A tal proposito esiste la norma europea UNI EN 13306, che definisce la manutenzione come *“combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”*.

1.2.1 Funzione richiesta

Secondo la norma, quindi, l'attività di manutenzione nasce nel momento in cui viene evidenziata una funzione richiesta, cioè una *“funzione, combinazione di funzioni, o totalità della combinazione delle funzioni di un elemento che si considerano necessarie per rendere disponibile un servizio richiesto”*. Qualora infatti venisse meno quest'ultima funzione, sarebbe indispensabile agire sull'oggetto o bene con finalità di ripristinare la funzione richiesta originaria. Ecco perciò il bisogno dell'attività manutentiva.

Secondo la normativa ogni oggetto sottoposto a manutenzione possiede alcune proprietà, di cui le più importanti sono tre: affidabilità, disponibilità e manutenibilità.

1.2.1.1 Affidabilità

Secondo la norma viene definita affidabilità l'*“attitudine di un elemento a svolgere una funzione richiesta sotto alcune condizioni determinate durante un intervallo di tempo stabilito”*. Perciò l'affidabilità può essere misurata valutando la media aritmetica del tempo che intercorre tra due guasti successivi (MTBF, *Mean Time Between Failures*) o tra due interventi di manutenzione successivi (MTBM, *Mean Time Between Maintenance*).

Poiché le prestazioni di ogni sistema tendono inevitabilmente a degradare nel tempo, è opportuno che l'affidabilità di un sistema sia definita come la misura della sua attitudine a fornire nel tempo una prestazione soddisfacente. Questa misura, essendo di tipo probabilistico, viene definita con una scala di valori che parte da 0 arrivando ad 1.

Definendo con la funzione $f(t) dt$ la probabilità che si verifichi un guasto fra l'istante t e l'istante $t + dt$, la probabilità di avere un guasto fra l'istante iniziale e l'istante $T = t$ è definito dalla relazione:

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (1.1)$$

dove $0 < t < \infty$ ed inoltre $F(0) = 0$ e $F(\infty) = 1$.

L'affidabilità (“Reliability”) è la probabilità che tale sistema non si guasti. Viene anche chiamata funzione di sopravvivenza ed è definita essere $R(t) = 1 - F(t)$. Poiché R indica l'affidabilità, ovviamente la funzione F indica l'inaffidabilità. Da un punto di vista matematico, interpretando il tempo di guasto come una variabile casuale continua, F è la sua funzione di ripartizione e R il suo complemento a uno. Ogni volta che la probabilità di guasto è indipendente dall'età (e dal tempo di servizio) dei componenti del sistema, si ipotizza che il tempo del primo guasto e il tempo di attesa dei successivi seguano una distribuzione esponenziale negativa, e che il numero di guasti (tasso di guasto λ) segua una distribuzione di Poisson:

$$R(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.2)$$

Naturalmente il livello di affidabilità richiesto alla macchina incide sui costi. Si definiscono, per questo, due diverse strategie:

- 1) Si richiede un livello di affidabilità elevato, che comporta attenzioni maggiori in fase di progettazione e produzione, e dunque un costo iniziale della macchina ingente, ma, successivamente, minori costi di manutenzione;
- 2) Si richiede un livello di affidabilità minore, il quale quindi corrisponde a un costo iniziale inferiore, prevedendo però un adeguato programma di manutenzione.

Come nella maggioranza dei casi non c'è una strategia migliore. In base alle proprie esigenze ogni impresa si orienta scegliendo ciò che è più consono per raggiungere i suoi obiettivi aziendali.

1.2.1.2 Disponibilità

La norma definisce lo stato di disponibilità come lo “*stato di un elemento caratterizzato per il fatto che può realizzare una funzione richiesta, prevedendo che si diano le risorse esterne qualora fossero necessarie*”. Risulta chiaro come l'attività di manutenzione preveda lo stato di indisponibilità della macchina, il quale prosegue anche durante l'attività manutentiva stessa. Si può quindi affermare che, di fatto, la disponibilità dipende dai tempi di indisponibilità dovuti alle fermate delle macchine.

Si definisce la disponibilità tecnica (“Availability”) come:

$$A = \frac{MTTF}{(MTTF + MTTR)}, \quad (1.3)$$

ossia il rapporto tra il tempo medio tra i guasti e la somma tra il tempo medio tra i guasti e il tempo medio di riparazione. L'indice misura infatti la disponibilità risultante dagli eventi di guasto e dalla capacità del sistema di percepire tale stato, di segnalarlo, di affrontarlo e

di risolverlo, ossia tiene conto sia del tempo di riparazione, sia dei tempi accessori logistici (attesa della manutenzione, attesa di ricambi, collaudo, ecc.).

Si può anche definire la disponibilità operativa, ottenuta come:

$$A_{op} = \frac{MTBM}{(MTBM + MDT)}, \quad (1.4)$$

cioè il rapporto fra il tempo medio tra due eventi di manutenzione e la somma di tale valore con il tempo medio di indisponibilità (MDT, “*Mean Down Time*”). L'aggettivo “operativa” sottolinea il fatto che si tiene conto di tutti i fattori “fisici” che concorrono all'indisponibilità, sia indotti dalla manutenzione nelle sue varie forme, sia indotti dalle specificità del processo, ad esempio i tempi tecnici di preparazione.

In ogni caso si evidenzia che la disponibilità risulta essere un numero sempre inferiore all'unità, aspetto evidente poiché si dimostra improbabile il fatto che il macchinario non si guasti mai.

Per i sistemi dipendenti da più macchinari il concetto di disponibilità cambia a seconda dello schema di impianto, se in serie o in parallelo. In caso di elementi del sistema posti in serie uno dopo l'altro la disponibilità dello stesso dipenderà dal primo guasto che si presenta. Questo invece non succede nel caso il sistema si presenti in parallelo, dove la percentuale di disponibilità si avvicina con più facilità all'unità in quanto è improbabile un blocco contemporaneo di tutti i componenti del sistema.

1.2.1.3 Manutenibilità

La manutenibilità è definita dalla norma come la “*capacità di un elemento, date le condizioni di utilizzo, di essere preservato, o essere restituito allo stato nel quale possa realizzare la funzione richiesta. Ciò avviene quando la manutenzione è realizzata nelle condizioni determinate, e con procedure e mezzi prescritti*”.

L'attività manutentiva interviene quando un oggetto ha subito un guasto e dunque deve essere riparato. Il tempo di riparazione (TTR, *time to repair*) si articola in:

- Tempo di diagnosi: identificazione, localizzazione e individuazione della causa del guasto;
- Tempo di set-up: individuazione metodo di riparazione, tempo logistico e amministrativo;
- Tempo di riparazione;
- Tempo di ripristino.

Un componente o sistema sarà altamente mantenibile quando lo sforzo fatto per restituire la possibilità di realizzare la funzione richiesta è basso, il che si traduce in un basso TTR; al contrario la manutenibilità sarà bassa se lo sforzo è elevato, e di conseguenza TTR lungo.

Ciascuna delle componenti temporali è soggetta a variazioni a seconda del tipo di guasto. Se il guasto è già conosciuto, ad esempio, il suo tempo di diagnosi sarà pressoché nullo, così come quello di set-up. Tuttavia, si potrebbe andare in contro ad una dilatazione dei tempi se il componente non è presente nel magazzino ricambi, e dunque lo si deve ordinare al fornitore e aspettare il suo arrivo. Infine, ogni intervento di manutenzione è a sé stante poiché vi possono sempre essere dei contrattempi non previsti. Risulta quindi difficile preveder quali potrebbero essere i tempi di riparazione e ripristino.

Alcune caratteristiche tipiche dell'oggetto che possono condizionare la durata dei tempi e dunque intervenire sul carattere manutentivo del componente stesso sono:

- Accessibilità, un'entità è accessibile se è garantita la facilità di accesso alle sue parti più soggette a riparazioni, ispezioni, revisioni, sostituzioni;
- Estraibilità, un'entità ha caratteristiche di estraibilità se, per effettuare lo smontaggio di una sua parte, non vi è l'obbligo di smontare altre parti non direttamente interessate dallo specifico intervento;
- Manipolabilità, un'entità ha le caratteristiche di manipolabilità se le parti soggette a smontaggio possono essere facilmente trasportate. Hanno impatto sulla manipolabilità caratteristiche quali peso, forma e tossicità ad esempio;
- Pulibilità, un'entità è pulibile se le parti soggette a pulizia sono facilmente accessibili e individuabili.
- Modularità, un'entità ha caratteristiche di modularità se quando è costituita da sotto assiemi, funzionalmente completi, che possono essere rapidamente sostituiti a bordo macchina da personale anche non specializzato, rimandando la sostituzione delle parti usurate ad una revisione del modulo in officina.
- Intercambiabilità, un'entità ha caratteristiche di intercambiabilità se le parti soggette a smontaggio possono essere sostituite da parti intercambiabili, compatibili per forma e funzione realizzata. A monte c'è sempre uno studio di standardizzazione, volto alla definizione di componenti standard, comuni più entità da mantenere. È un fattore fondamentale per ridurre il tempo di reperimento dei ricambi.
- Testabilità, un'entità è testabile se si è in grado (con il supporto di strumentazione di misura installata direttamente a bordo dell'entità o trasportabile e allacciabile) di collaudare le funzionalità dell'entità e di diagnosticare eventuali avarie. È un fattore che ha un impatto pesante sulla durata delle attività diagnostiche.

Quanto migliori sono queste caratteristiche nell'oggetto che deve essere riparato, tanto minore sarà il tempo impiegato per la sua manutenzione.

1.2.1.4 Relazione tra le tre proprietà

Le tre proprietà sono intrecciate tra loro in modo abbastanza evidente. Solitamente se la macchina possiede un gran valore di affidabilità le dovrebbero corrispondere tempi di disponibilità elevati. Ciò tuttavia dipende dal livello di manutenibilità. Infatti, se la manutenibilità è elevata è possibile garantire, a parità di livello di affidabilità, una disponibilità via via maggiore. Al contrario se la manutenibilità cala, così sarà anche per la disponibilità.

Ovviamente quanto più un sistema o un componente possiedano valori ottimali delle tre proprietà, tanto più il costo del detto sistema o componente sarà elevato.

In Figura 1.3 questa relazione viene mostrata comparando valori crescenti di affidabilità e disponibilità con il prezzo.

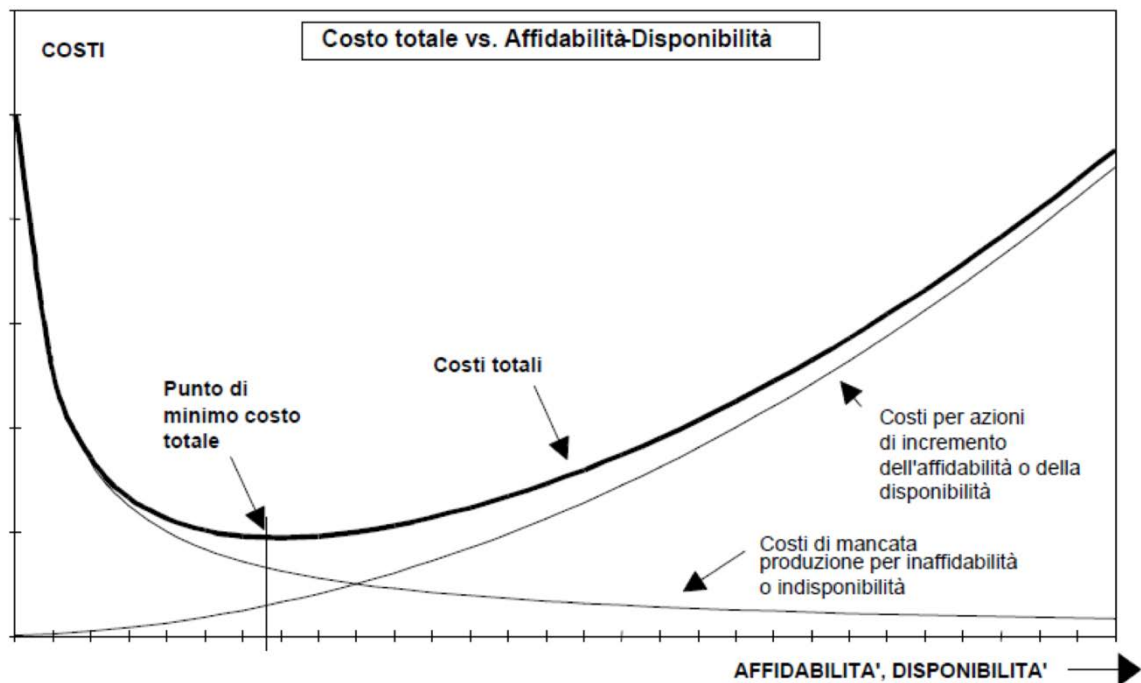


Figura 1.3: Curva dei costi totali al crescere dei valori di affidabilità e disponibilità

Come si evince dalla figura, i costi totali sono dati dalla somma dei costi adibiti all'incremento dei valori di affidabilità e disponibilità e dai costi dovuti alla mancata produzione, dovuta per l'appunto all'assenza delle due proprietà appena citate. Se da un lato è giusto limitare i costi dovuti alla mancata produzione, dall'altro lato, non è nemmeno ottimale cercare di aumentare il più possibile i livelli di affidabilità e disponibilità, poiché ne risultano costi totali spropositati. Il giusto punto di incontro lo si trova cercando di possedere buoni valori di affidabilità e disponibilità, ammettendo però la possibilità di avere margini per cui si verificano costi di mancata produzione. Ecco che in questo modo i costi totali non sono esagerati e si mantengono allo stesso tempo buoni livelli di prestazione dei macchinari.

Con l'aiuto della Figura 1.4 invece è possibile evidenziare il legame tra le tre proprietà messe a confronto.

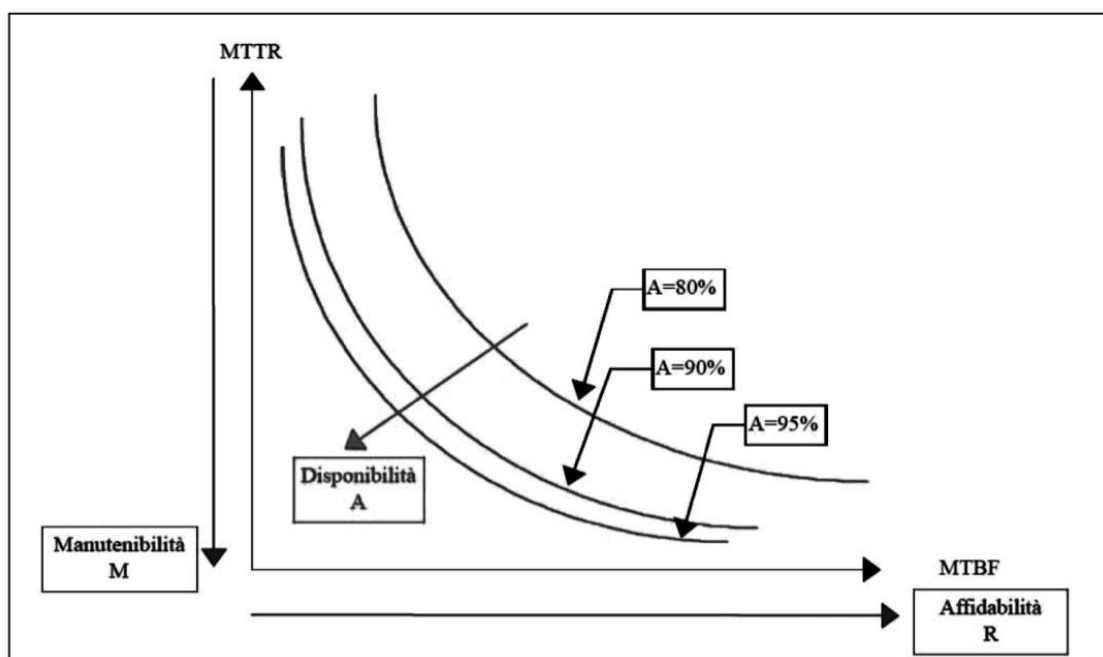


Figura 1.4: Relazione tra le tre proprietà: affidabilità, disponibilità e manutenibilità

Come si poteva facilmente intuire, le proprietà di affidabilità e manutenibilità sono direttamente proporzionali, ossia un aumento della affidabilità richiesta al macchinario comporta un grado di manutenibilità che dovrebbe essere via via sempre più elevato per garantire appunto il requisito di affidabilità richiesto.

Per quanto riguarda la disponibilità invece, si vede che:

- a parità di affidabilità, un aumento della disponibilità richiesta comporta valori di manutenibilità sempre maggiori. Ne deriva dunque che manutenibilità e disponibilità sono direttamente proporzionali;
- a parità di manutenibilità, un aumento della disponibilità è accompagnato da valori di affidabilità sempre minori. Ne deriva dunque che disponibilità e affidabilità sono grandezze inversamente proporzionali.

Come detto, quanto più elevati risultano i valori delle tre proprietà, tanto più alti saranno i costi del macchinario. È evidente però che, nella maggior parte dei settori industriali, non sono richiesti tali valori delle proprietà, poiché non vi è, in primo luogo, un evidente ritorno economico. Ogni impresa deve valutare in modo personale quale livello desidera soddisfare e agire, dunque, di conseguenza.

1.2.2 Tasso di guasto λ

Per quanto si possa investire sull'affidabilità o la manutenibilità di un macchinario, è altamente improbabile che per tutta la durata della vita utile della macchina sia sempre garantita la funzione richiesta. Inevitabilmente si giunge ad un momento in cui si verifica un guasto. Si definisce perciò, in relazione alla vita del sistema, macchinario o componente, quello che viene definito come tasso di guasto, λ . Data una certa entità, il tasso di guasto $\lambda(t)$ è la probabilità che questa entità, che al tempo t si trova in stato di buon funzionamento, si guasti in un tempo compreso tra t e $t + dt$. Il tasso di guasto può essere visto anche come il rapporto tra la frazione di popolazione che si guasta in un intervallo Δt e il numero dei componenti ancora funzionanti all'istante t .

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N_g(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{N_f(t)}, \quad (1.5)$$

dove appunto $N_g(t)$ rappresenta il numero di componenti guasti all'istante t e $N_f(t)$ il numero di componenti ancora funzionanti.

Utilizzando termini già conosciuti, il tasso di guasto si può inoltre esprimere come:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, \quad (1.6)$$

ossia il rapporto tra la probabilità che si verifichi un guasto tra l'istante t e l'istante $t + dt$ e il valore dell'affidabilità espresso dall'equazione (1.2).

Solitamente una qualsiasi macchina segue uno schema del tasso di guasto che, se graficato, porta alla cosiddetta curva a “vasca da bagno”, mostrata in Figura 1.5.

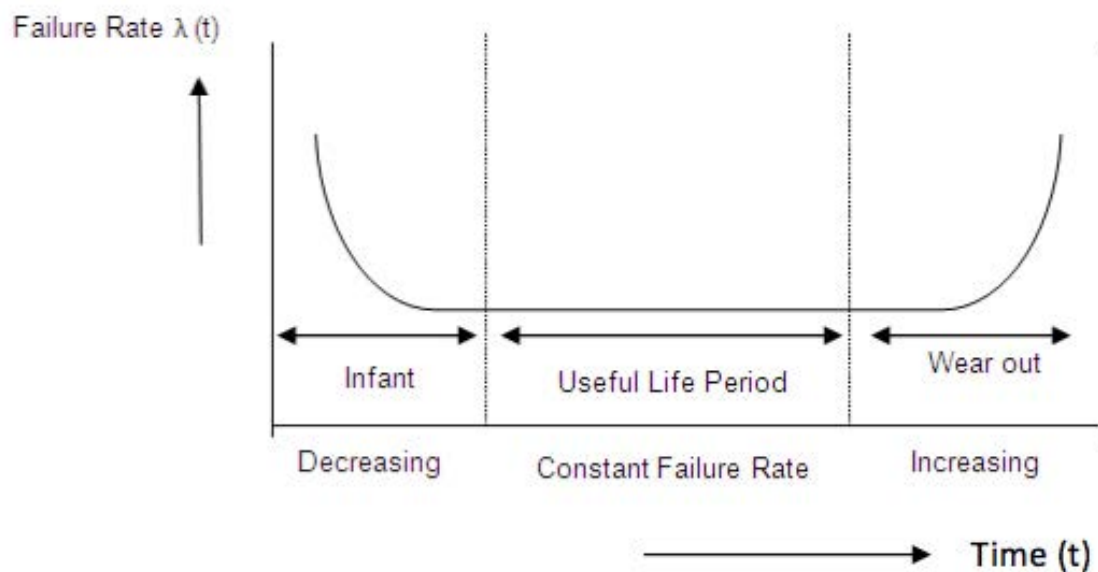


Figura 1.5: Curva del tasso di guasto in relazione al tempo di funzionamento

Si nota fin da subito che la curva è divisa in tre rami, i quali si riferiscono a tre periodi differenti della vita della macchina.

Il primo ramo rappresenta il periodo in cui la macchina è in rodaggio e per questo motivo si verificano diversi guasti infantili. I guasti di questo genere sono dovuti ad errori del progetto, errori di lavorazione o di montaggio, errate scelte dei materiali impiegati. Essi hanno tendenza a ridursi con il passare del tempo di funzionamento. La distribuzione statistica che meglio descrive l'andamento dei guasti in questa fase è quella di Weibull. Per la funzione $R(t)$ tale distribuzione risulta essere:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}, \quad (1.7)$$

dove il parametro α esprime la vita caratteristica (tempo) e β un parametro di forma che, per valori < 1 , acquisisce un andamento monotono decrescente.

La percentuale di popolazione che cede al tempo t è, come si è visto, data da:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}, \quad (1.8)$$

con densità di probabilità di guasto pari a:

$$f(t) = \lambda e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}. \quad (1.9)$$

Questo tipo di guasti può essere considerevolmente ridotto con un adeguato sistema di controllo della qualità.

Il secondo ramo rappresenta il periodo della vita utile del sistema. In tale periodo emergono i guasti definiti casuali, ossia dovuti a fattori incontrollabili. Solitamente in questa fase la probabilità di guasto risulta indipendente dal periodo accumulato di esercizio, ed inoltre il numero di guasti riscontrati è mediamente costante. La distribuzione che meglio descrive l'andamento dei guasti in questa fase è la funzione di distribuzione esponenziale negativa, che è in grado di far comprendere l'indipendenza della probabilità di guasto dal tempo accumulato di funzionamento. Per λ costante la distribuzione quindi assume la forma precedentemente analizzata nell'equazione (1.2). L'andamento del tasso di guasto è costante e ha valori inferiori a quelli evidenziati nella fase precedente. I guasti sono dovuti a condizioni di severità ambientale o a condizioni di progetto non previste.

Il terzo ed ultimo ramo rappresenta il periodo della vecchiaia o dell'usura. Si accentuano i fenomeni di usura e di fatica che si manifestano attraverso incrementi del numero di guasti negli stessi intervalli di tempo. La distribuzione che meglio interpreta questa ultima fase è la distribuzione normale o gaussiana caratterizzata, appunto, dai due parametri di valor

medio e di deviazione standard. Questa fase può essere rallentata e i guasti per usura diminuiti con una opportuna strategia di manutenzione.

È importante sottolineare che l'andamento del tasso di guasto evidenziato risulta valido solamente quando si parla di sistemi complessi, cioè sistemi in cui si interfacciano più componenti, ciascuno con proprie curve di guasto, la cui combinazione restituisce appunto lo schema a vasca da bagno. Per i sistemi più semplici spesso non si riscontra questo andamento.

Nel caso dei sistemi più complessi, come detto, entrano in gioco più componenti, ciascuno dei quali è caratterizzato dalla propria affidabilità. In base alla modalità di installazione si distinguono perciò:

- sistemi con struttura in serie;
- sistemi con struttura in parallelo.

Un sistema si dice in serie quando ogni elemento risulta fondamentale per il corretto funzionamento del sistema stesso. Ciò significa che qualora avvenisse un guasto in uno qualsiasi dei componenti, il guasto in questione precluderebbe il funzionamento dell'intero sistema. Da questo deriva che l'affidabilità di un sistema in serie è data dalla probabilità che all'istante t siano funzionanti tutti gli n componenti costituenti il sistema.



Figura 1.6: Esempio schematizzato di un sistema in serie

Supponendo che i guasti non possano coinvolgere più componenti contemporaneamente, ossia che i guasti dei componenti siano tra loro indipendenti, l'affidabilità complessiva dell'intero sistema in serie all'istante t si trova come il prodotto delle affidabilità dei diversi componenti del sistema all'istante t :

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t), \quad (1.10)$$

che nel caso di tasso di guasto costante risulta:

$$R_s(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t}. \quad (1.11)$$

Da queste espressioni si deduce come l'affidabilità di un sistema in serie diminuisce progressivamente all'aumentare dei componenti facenti parte del sistema stesso. L'affidabilità complessiva si attesta intorno ad un valore che è più piccolo del minore dei valori di affidabilità dei singoli componenti.

Un sistema si dice invece in parallelo quando il non funzionamento di un singolo componente non compromette la totalità del funzionamento del sistema. Ciò significa che, nel caso il sistema fosse composto da n elementi, perché il sistema risulti guastato devono verificarsi n guasti contemporanei.

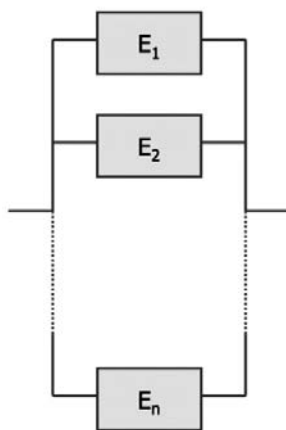


Figura 1.7: Esempio schematizzato di un sistema in parallelo

In questi casi il valore assunto dall'affidabilità complessiva del sistema in parallelo risulta essere data dall'espressione:

$$F_p(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t), \quad (1.12)$$

che diventa dunque:

$$R_p(t) = 1 - (1 - R_1(t)) \cdot (1 - R_2(t)) \cdot \dots \cdot (1 - R_n(t)). \quad (1.13)$$

Al contrario di ciò che avviene con i sistemi in serie, nei sistemi in parallelo l'affidabilità aumenta con l'aumentare dei componenti, ed inoltre, il valore finale assunto da $R_p(t)$ risulta essere maggiore del valore dell'elemento più affidabile.

Ovviamente risulta difficile che un sistema sia esclusivamente costruito in serie o in parallelo. Nella eventualità però che ciò accadesse è chiaro che sarebbe preferibile sfruttare un sistema in parallelo rispetto ad uno in serie per essere maggiormente tutelati.

È molto più comune il caso in cui i sistemi siano formati attraverso collegamenti che legano componenti secondo quelle che sono chiamate strutture serie – parallelo, ossia un insieme di due o più rami di componenti in serie a loro volta unite in parallelo (Figura 1.8), o strutture parallelo – serie, ossia un insieme costituito da serie di due o più componenti legati in parallelo (Figura 1.9).

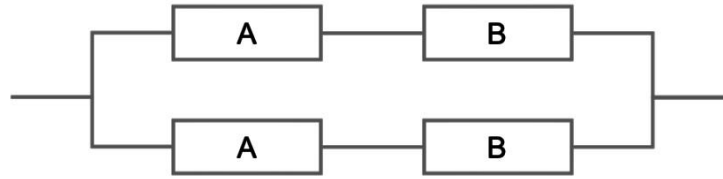


Figura 1.8: Esempio di struttura serie – parallelo

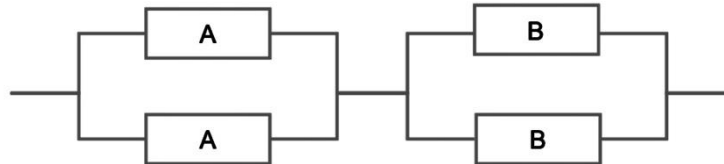


Figura 1.9: Esempio di struttura parallelo – serie

I valori dell'affidabilità nei due casi sono:

$$R_{sp} = R_A R_B \cdot (2 - R_A R_B), \quad (1.14)$$

$$R_{ps} = R_A R_B \cdot [4 - 2(R_A + R_B) + R_A R_B]. \quad (1.15)$$

Confrontando le espressioni si giunge alla conclusione per cui

$$R_{ps} > R_{sp}. \quad (1.16)$$

Ne deriva dunque che risulta più favorevole un sistema in cui vi siano serie di componenti uniti in parallelo tra loro. Effettivamente, anche a livello intuitivo, si potrebbe giungere a tale conclusione. In un sistema con struttura serie – parallelo, il mancato funzionamento di un componente compromette il funzionamento di un intero ramo del parallelo. Nel caso in cui vi fossero solamente due rami che uniscono un numero considerevole di componenti, il guasto contemporaneo in due componenti diversi dei due distinti rami provoca il blocco totale del sistema. Nel caso invece si abbia una struttura collegata con lo schema parallelo – serie, diventa più difficile avere un blocco totale del sistema. Infatti, perché ciò avvenga, si dovrebbero avere due guasti contemporanei dei medesimi macchinari o componenti uniti nello stesso parallelo, fatto che risulta abbastanza imprevedibile. La produzione invece continua qualora vi siano due o anche più guasti contemporanei nei diversi paralleli. Questo perché comunque si garantisce il funzionamento di almeno uno dei macchinari collegati nei rispettivi paralleli dove si sono verificate le rotture. Ecco dunque che risulta intuibile pensare che l'affidabilità in sistemi parallelo – serie sia più alta.

1.3 Introduzione della manutenzione in un contesto aziendale

Dopo aver presentato alcuni aspetti su cui si fonda la manutenzione, in questo paragrafo si vuole dare prova di come, effettivamente, all'interno di un'azienda, questo settore sia tra i più importanti e di come una sua introduzione possa beneficiare l'intero contesto aziendale.

Un'attività commerciale come detto ha bisogno e si fonda sia sul lavoro organizzativo e logistico degli uffici, sia su quello pratico e concreto della produzione. Il triangolo che sta alla base di un qualsiasi processo produttivo si basa sui tre concetti chiave che sono: disponibilità delle risorse produttive, organizzazione dei programmi di produzione e gestione dei dati di rendimento.

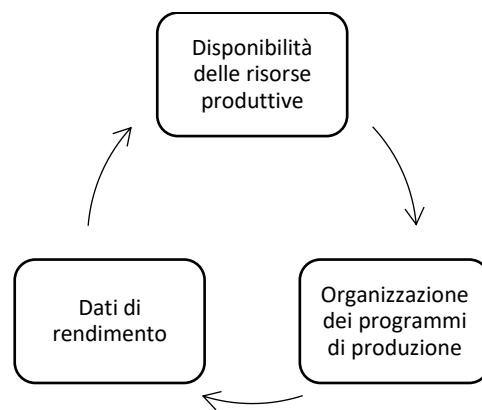


Figura 1.10: Concetti chiave per comprendere l'introduzione di un sistema di manutenzione

La disponibilità delle risorse produttive è parte consistente dei costi che l'azienda deve sostenere. Essa riguarda le spese per i macchinari, per gli operai, per le materie prime che devono essere sottoposte a lavorazione. Da questo aspetto, dunque, discende l'imposizione dei prezzi con cui il bene prodotto si presenta sul mercato, prezzo che permette all'azienda di far fronte a tali costi e ottenere i dovuti guadagni. I prezzi vengono aggiustati ovviamente basandosi anche sui programmi di produzione: solitamente quanto più si riesce a produrre, e in particolare quanto più si riesce a produrre in breve tempo, tanto più si può essere concorrenti nel mercato con un prezzo di vendita minore ma comunque conveniente. Si giunge così al terzo pilastro, direttamente collegato ai primi due, ossia l'osservazione dei dati di rendimento, attraverso cui si vede se ciò che era stato programmato è stato effettivamente compiuto o meno. Dalla cooperazione di questi tre aspetti si pronosticano i guadagni e di conseguenza il fatturato aziendale.

Il tutto sembrerebbe funzionare perfettamente e, di conseguenza, ciò che si era detto riguardo alla manutenzione perderebbe di senso. In realtà la manutenzione entra in modo sottile e molto efficace in questo ragionamento. Si pensi a come sono gestiti i programmi

di produzione: si possiede un numero che può essere grande o piccolo di pezzi da produrre, si organizzano le risorse produttive debite alla loro produzione, si fanno rapidi calcoli e si stila il prezzo. Tutto è perfetto, gli operai lavorano, i prodotti escono dalla produzione, le vendite si concludono. Appunto tutto funziona fino a quando uno o più macchinari si guastano. Ecco così che viene meno la disponibilità delle risorse produttive, i tempi di produzione si allungano, i costi di fermo macchina si accumulano, il prezzo calcolato per il prodotto finito risulta ora restituire un guadagno che non era quello preventivato poiché vi sono stati costi non previsti, il fatturato scende. Il tutto sembra essere ininfluenza a prima vista. Tuttavia, quando i guasti cominciano a essere frequenti e i ritardi nella produzione non più un'eccezione, il danno comincia ad essere reale.

È proprio qui che l'introduzione di un corretto piano di ingegneria della manutenzione può costituire la svolta a livello aziendale. Poter contare sul fatto di disporre di un programma di intervento preventivo che può far diminuire i blocchi di produzione e soprattutto che tiene conto dell'onere anche di questi interventi hanno sul contesto aziendale, permettono di ridefinire in modo consapevole i tre pilastri presentati inizialmente. La disponibilità delle risorse produttive è garantita e gestita in modo intelligente, con fermi programmati e preventivati; i programmi di produzione tengono conto del fatto che i macchinari non possono essere sempre funzionanti e che quindi il calcolo dei pezzi deve essere fatto su tempi più dilatati; i dati di rendimento cominciano ad essere più vicini ai dati che ci si aspetterebbe da una produzione regolare e correttamente impostata. Altra conseguenza diretta, e sicuramente di valore fondamentale a livello dell'impresa, risulta essere quella del calcolo dei prezzi dei beni finiti. Grazie alla manutenzione si riesce a diminuire il numero di imprevisti e dunque fin da subito imporre un prezzo che tuteli ancora di più la ditta, poiché all'interno del prezzo stesso vi sono già compresi tutti i possibili costi provenienti da attività di carattere manutentivo che diventano comuni quando per esempio si parla di grosse produzioni. Ne deriva che anche le aspettative sul guadagno e sul futuro fatturato verranno più o meno rispettate, l'azienda possederà più consapevolezza di come porsi all'interno del mercato e di quali strategie assumere nei confronti della concorrenza. Si capisce dunque che quello che inizialmente poteva sembrare un'assurdità, in realtà si rivela un'argomentazione valida: la manutenzione permette di mettere ordine all'interno del processo produttivo, permettendo di poter raggiungere in modo proficuo e consapevole l'obiettivo o gli obiettivi prefissati.

Capitolo 2

Presentazione di Orion Spa e del piano di intervento

Nel secondo capitolo si vuole portare maggiormente l'attenzione sul caso reale oggetto di questo lavoro di tesi. Si procederà dunque con l'analizzare l'azienda Orion Spa, indicando di cosa si occupa, perché è sorta la esigenza di attivare questo progetto di manutenzione, quali sono tuttora le complessità e le esigenze che si riscontrano all'interno dell'azienda. Oltre a questo, si cercherà di esporre una breve panoramica del piano di lavoro che si intende mettere in atto, panoramica che troverà una trattazione di più ampio respiro nei capitoli successivi.

2.1 Presentazione dell'azienda

Il calzaturificio Orion nasce nel 1979, ad Agna, nella bassa padovana. I fondatori, Lino Bozzato e Maria Antonietta Meneghin, conoscono il mondo calzaturiero padovano grazie alla precedente, e tuttora attiva, produzione di materiale per packaging dello scatolificio Bozzato.

L'area della bassa padovana in quegli anni ha forte vocazione artigianale che, in parte, si orienta alla fornitura di prodotti e servizi per il distretto delle produzioni sportive dell'area di Montebelluna.

Negli anni '80 il calzaturificio Orion (allora Snc) riceve le prime commesse da marchi internazionali, tra i quali "Puma", per il quale l'azienda arriverà a produrre fino a 25.000 paia di calzature sportive al giorno per oltre 10 anni. Sin dall'inizio, e tutt'oggi, il calzaturificio si avvale della tecnologia ad iniezione diretta di poliuretano (PU) su tomaia lavorata a sacchetto a mezzo di cucitura Strobel. La lavorazione "a sacchetto" (Figura 2.1) consiste nella realizzazione di una fodera che prima di essere lavorata viene cucita attorno alla forma come fosse un guanto o, appunto, un sacchetto. Questa lavorazione è quella che consente alla calzatura la massima flessibilità e comodità, oltre che leggerezza, evitando tutte le componenti rigide utilizzate invece negli altri tipi di lavorazione.

Negli stessi anni in Germania avviene l'introduzione della prima tecnologia ad iniezione diretta di PU su tomaia anche per la produzione di calzature di sicurezza, tecnologia che fino a quel momento era usata esclusivamente per scarpe da tennis. Il calzaturificio Orion viene coinvolto in tale tipo di produzione mettendo le basi delle attuali produzioni di calzature di sicurezza.

Nel 2000 Orion Spa apre un sito produttivo in Romania, con circa 400 addetti e direttamente gestito da tecnici italiani, dislocandovi quattro giostre per l'iniezione di PU, e attrezzando alcune linee di cucitura per la produzione di tomaie.



Figura 2.3: Una delle fasi della lavorazione "a sacchetto"

Nel 2001 Orion si trasferisce nell'attuale sede di Bagnoli di Sopra, in provincia di Padova, su un'area coperta di 17.000 mq all'interno di un sito di 35.000 mq, con sei giostre per l'iniezione di soles in PU, TPU e gomma, di cui due riservate alle prototipazioni. Il personale conta circa 200 addetti, 40 dei quali entrano, a vario titolo, nella fase di prototipazione e modelleria. Il fatturato oscilla tra i 35 e 40 M€ per una produzione di circa 3.000.000 di paia all'anno. Il signor Lino Bozzato è purtroppo venuto a mancare recentemente, mentre la signora Maria Antonietta Meneghin tiene tutt'oggi il controllo dell'azienda e la dirige con la collaborazione della figlia e di alcuni familiari.

La divisione sicurezza opera con personale specializzato nell'area progettazione produzione e vendita, condividendo strutture e personale di prototipazione, acquisti, amministrazione e infrastruttura informatica. Il personale complessivo della divisione conta circa 40 addetti. La produzione nel campo della sicurezza rappresenta il 30% del fatturato ed è suddiviso tra i marchi registrati Secor e Dike, quest'ultimo separatosi da Orion a livello legale nel 2018, ma continuando a farne parte a livello logistico e di produzione, condividendone ambienti e attrezzature.

Negli ultimi anni, Orion ha ottenuto l'approvazione CSA per la produzione di calzature per il mercato canadese e americano. Si avvale o si è avvalso della collaborazione di laboratori di collaudo indipendenti ed Organismi Notificati quali Ricotest, Cimac, TUV, PFI, Hermes Hansecontrol.

2.2 Organizzazione della produzione all'interno di Orion Spa

La produzione, all'interno del calzaturificio Orion, è suddivisa in diverse fasi, le quali al loro interno possiedono differenti tipi di lavorazioni e tempistiche. La prima operazione che deve essere messa in atto per giungere alla creazione del prodotto finito è, come sempre, la raccolta, all'interno del magazzino, di tutte le materie prime, necessarie per la creazione della calzatura stessa. Questo magazzino è direttamente controllato dall'azienda, in modo da poter esaminare e verificare la qualità dei materiali con cui viene fabbricata la scarpa fin dal primo istante.

Successivamente, le materie prime vengono smistate nei diversi tomaifici esterni della zona che collaborano con l'azienda, senza tuttavia farne parte. Ciò che rientra in Orion sono le tomaie già realizzate e conteggiate. Il numero è pressoché stabilito e dipendente dal quantitativo di materia prima che si era precedentemente fornita al tomaificio. Entra dunque in fabbrica il primo dei semilavorati che andranno successivamente a comporre la calzatura. Le tomaie vengono così immagazzinate nel magazzino dei semilavorati dove si trovano già anche solette e battistrada. Una volta che sono presenti tomaie, solette e battistrada della medesima calzatura è possibile procedere alla lavorazione vera e propria.

I semilavorati sono portati al reparto di iniezione dove, grazie al lavoro degli operatori e delle macchine rotanti, si realizza la congiunzione delle tomaie con i battistrada attraverso colate di poliuretano semplice o iniezioni di poliuretano termoplastico. Dopo il processo di iniezione, che verrà spiegato con maggior dettaglio nel prossimo paragrafo, si può dire che la scarpa è stata creata. Tuttavia, non è ancora pronta per la vendita. La colata o l'iniezione di poliuretano infatti non è del tutto precisa. Il materiale esce da quelli che sono i "confini" prestabiliti della suola, necessitando, per tanto, di un'altra operazione affinché si possa rifinire la scarpa e ottenere così un risultato accettabile che possa incontrare le esigenze del futuro cliente.

Le scarpe vengono dunque caricate in una manovia. Qui gli operatori provvedono a quello che viene chiamato finissaggio, cioè tutto quell'insieme di operazioni di rifinitura che portano a compimento la creazione della calzatura, come ad esempio la rimozione del poliuretano in eccesso, il ritocco del colore su parti che non sono state colorate, l'introduzione dei lacci, l'inserimento delle solette, la lucidatura o pulizia della calzatura. Una volta che sono state portate a termine tutte le operazioni di miglioramento e ritocco la scarpa è terminata. Viene dunque inserita della carta all'interno della calzatura per evitare che la tomaia perda la forma e si restringa. Infine, le scarpe vengono accoppiate e confezionate all'interno delle apposite scatole.

A questo punto si raccolgono tutte le scatole degli stessi modelli in bancali che, a loro volta, vengono imballati. Il bancale viene quindi riposto, assieme ad altri, nel magazzino dei prodotti finiti, pronto per la distribuzione sul mercato.

2.3 Complessità produttive

Dopo aver accumulato anni di esperienza nel settore della produzione di scarpe, i dirigenti di Orion Spa hanno deciso, in questo ultimo anno, di analizzare con più accuratezza la catena di produzione all'interno dell'azienda, con lo scopo, in primo luogo, di risolvere alcune criticità all'interno della medesima e, in secondo luogo, naturalmente, cercare di innalzare il numero delle calzature prodotte, così da aumentare utili e fatturato, senza però rinunciare alla qualità e all'attenzione sul prodotto. Questo progetto di miglioramento della produzione è partito, e tuttora è in fase di svolgimento, prendendo come campione lo stabilimento italiano di Bagnoli di Sopra. Questa scelta è dettata dal fatto che la dirigenza di Orion Spa ha sede proprio in questo stabilimento e quindi ha la possibilità di controllare e seguire in maniera molto più ravvicinata il progetto stesso.

Si è riscontrato fin da subito che il settore critico all'interno della produzione di Orion Spa è il reparto iniezione. Quest'ultimo infatti risulta essere il settore fondamentale per l'ottenimento della calzatura finita e dunque rappresenta anche il collo di bottiglia del processo produttivo. Ogni problematica che sorge all'interno di tale reparto determina il rallentamento o la fermata del ciclo di produzione.



Figura 2.2: Macchina rotativa o giostra per l'iniezione diretta su tomaia di soles in PU (24 stazioni)

Come si può vedere in Figura 2.2 la complessità dei macchinari di produzione è elevata, basti pensare, ad esempio, che la probabilità di guasto dei componenti di ogni stazione si ripete all'interno della macchina 24 volte.

La giostra, infatti, è una grande tavola rotante a ventiquattro stazioni. Al centro è comandata da un motore elettrico e si avvale di un meccanismo a croce di malta (meccanismo usato per trasformare il moto rotatorio continuo in un moto rotatorio intermittente) per garantire la rotazione delle postazioni.

Per ogni postazione sono presenti dei supporti che sorreggono ciascuno una forma, in cui viene inserita la tomaia per la lavorazione “*a sacchetto*” (come mostrato in Figura 2.1), e una *falsa forma*, per la creazione del battistrada. Appunto per poter realizzare quest’ultima azione, e per unire inoltre tomaia e battistrada, ogni stazione possiede anche un supporto, che viene detto *zeppa*, dove si posiziona il battistrada creato. Per tenere bloccata in sede la tomaia sono utilizzati degli ancoraggi mobili detti *anelli*. Il controllo delle altezze degli stampi, falsi stampi e delle *zeppe* si ottiene mediante l’uso di pistoni idraulici.

Tuttavia, affinché si realizzi la lavorazione completa della calzatura, sono necessari, di supporto alla giostra principale anche altri macchinari, ossia:

- **Robot distaccante:** consiste in un braccio robotico il cui compito è quello di spruzzare il distaccante sulla *zeppa*, in modo tale che, una volta iniettato il poliuretano e realizzata l’unione tra battistrada e tomaia, la suola non rimanga attaccata allo stampo, impedendone lo staccamento. Collegato al robot si ha il serbatoio del distaccante. Sopra la postazione di spruzzo, è presente una cappa di aspirazione che cerca di evitare il diffondersi del distaccante nell’aria.
- **Pompa di colata del poliuretano 1:** in questa stazione avviene la colata per la creazione del battistrada miscelando due componenti, poliolo e isocianato. Questi due componenti si mescolano tra loro all’interno della pompa in modo tale da formare il poliuretano. Il materiale, per mezzo di una vite senza fine, viene colato all’interno della intercapedine lasciata tra la *zeppa* e la *falsa forma* e, una volta solidificatosi, crea il battistrada. Si deduce facilmente che collegata a questa macchina vi siano i serbatoi dei due componenti.
- **Pompa poliuretano compatto:** questo macchinario utilizza delle tecniche di iniezione per colare il poliuretano compatto TPU, elastomero termoplastico a base poliuretanica. Il materiale viene caricato in macchina sotto forma di pellet e successivamente, scaldato, si trasforma in un materiale gommoso che può essere utilizzato per creare i battistrada. Questa macchina può quindi essere utilizzata in sostituzione di quella precedentemente analizzata per la creazione, appunto, dei battistrada.
- **Robot di cardatura:** la cardatura è una operazione di abrasione della tomaia fatta per migliorare l’adesione tra la tomaia e la colata di poliuretano che formerà la suola della calzatura. L’operazione è realizzata con un robot a sei assi che percorre tutto il perimetro della tomaia abradendolo. Non tutte le cardature sono uguali, basti

pensare che per ogni modello di scarpa si ha il piede destro e quello sinistro, o che per ogni modello ci sono diversi numeri della stessa calzatura.

- **Pompa colata poliuretano 2:** questa pompa funziona esattamente come la prima con la differenza che in questa si inietta più materiale poiché l'obiettivo è quello di riempire tutto lo spazio rimanente tra tomaia e battistrada. A differenza della prima questa pompa permette anche la colorazione delle soles attraverso l'inserimento di un colorante. Quest'ultimo viene aggiunto insieme a poliolo e isocianato senza alterare i risultati della reazione chimica che avviene tra i due componenti.

Tutte le macchine satellite lavorano in modo sincronizzato e con tempi uguali a quelli di rotazione della giostra. Queste macchine, una volta programmate, lavorano in modo autonomo, senza bisogno di intervento da parte di un operatore.

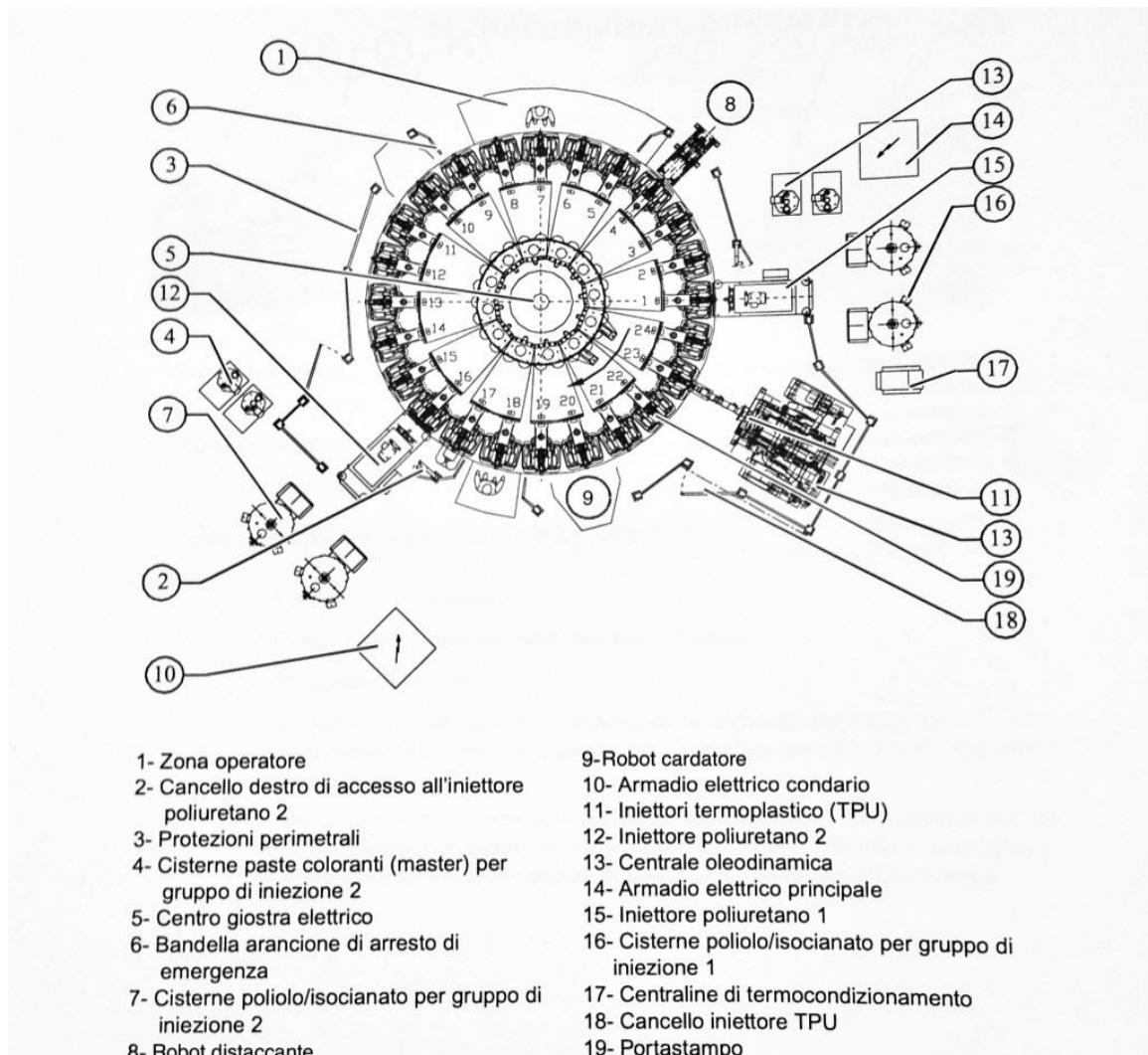


Figura 2.3: Schema del sistema macchina rotante

2.3.1 Fermate del sistema

La complessità del sistema, con tutte le sue parti, aumenta la probabilità teorica di eventi di guasto. Risulta facilmente comprensibile che, qualora il guasto interessi uno step fondamentale della lavorazione, inevitabilmente tutta la catena di produzione ne sia compromessa e dunque la linea debba necessariamente arrestarsi. Si evidenzia che, nella maggior parte dei modelli di scarpe che si realizzano, sono contemplate tutte le lavorazioni e dunque tutti i macchinari. Ciò significa che, nel momento in cui dovesse verificarsi un guasto in una qualsiasi delle macchine operatrici, essendo tutte le lavorazioni strettamente consequenziali, la problematica influirebbe nell'intero ciclo di produzione.

Fortunatamente, non tutti i guasti rientrano in tale categoria.

I blocchi complessivi in genere si riscontrano in conseguenza di guasti ingenti o per operazioni di pulizia obbligatoria. Per esempio, le viti delle pompe per la colata di poliuretano devono essere pulite e ingrassate più o meno ogni ora. Ciò fa sì che, obbligatoriamente, per l'appunto ogni ora, il sistema nel suo complesso debba fermarsi. Queste fermate non possono essere eliminate, poiché, tralasciando queste piccole azioni di manutenzione, si causerebbe un danno rilevante sia al macchinario, sia al sistema della giostra nel suo complesso qualora la macchina per la colata del poliuretano dovesse smettere di operare.

Concentrandosi sull'aspetto strettamente manutentivo del sistema nel suo complesso, con un po' di attenzione si sono riscontrate alcune problematiche che, se da una parte non possono essere evitate per naturale esigenza della lavorazione, dall'altra parte potrebbero essere senza dubbio migliorate. Tra queste si sottolineano:

1. Ripetute regolazioni dello stampo. Uno dei problemi riscontrati in Orion Spa è che le misure delle altezze a cui vengono fissati gli stampi sono differenti tra lo stabilimento italiano e quello rumeno. Poiché le forme vengono condivise e scambiate tra i due stabilimenti, dopo un trasferimento ci si imbatte in lunghi tempi morti dovuti alla regolazione degli stampi.
2. Cardature. La cardatura, come detto, è un'operazione in cui, attraverso un braccio meccanico, viene abrasa in modo lieve la tomaia in modo da facilitare, successivamente, l'aderenza del PU. Il problema della cardatura è legato a molteplici fattori quali la differenza degli stampi (destro e sinistro), la differenza della misura degli stampi nella serie (diversi numeri di scarpe), la differenza dei modelli, le diverse altezze a cui deve giungere il robot per effettuare correttamente l'operazione prestabilita. Per tutti questi motivi la cardatura richiede un tempo ampio di regolazione che, inevitabilmente, determina l'attesa dell'intero sistema. A livello manutentivo, inoltre, ciò che risulta critico è il problema legato alle polveri dovute all'abrasione. Per quanto possa funzionare anche in modo efficiente

l'impianto di aspirazione, parte delle polveri si riversa sul macchinario stesso e sulle stazioni di lavorazione. Ciò comporta il rischio di accumulo di sporcizia e potrebbe compromettere la pulizia del prodotto.

3. Problemi con materiale. Questa problematica si riferisce soprattutto al materiale iniettato. Quando si cambia il modello cambiano pure le specifiche di iniezione. Può dunque capitare che la colata non sia sufficiente, che per problemi di *preflusso* di materiale non si abbia una corretta distribuzione del materiale stesso o della colorazione, che si formino bolle d'aria sulla suola. Dal punto di vista manutentivo invece risultano d'interesse i problemi legati alla pulizia, al funzionamento corretto dei serbatoi, all'umidità. Le colate provocano scarti di materiale che fuoriescono dalla forma o che, al contrario, rimangono attaccati all'ugello di iniezione. Questo materiale crea accumuli indesiderati sulle macchine che devono essere rimossi. Piccole parti inoltre possono essere volatili e dunque si possono depositare non solo nelle forme o negli ugelli ma anche in diversi punti delle stazioni. Per quanto riguarda i serbatoi invece, essi costituiscono un sottoinsieme vero e proprio. C'è l'esigenza che funzionino valvole, iniettori e pompe per ottenere il risultato complessivo di una corretta colata. Si devono inoltre rispettare le giuste dosature dei materiali per ottenere la giusta miscela di poliuretano, non ci devono essere sfasamenti tra l'ingresso dei due componenti nel macchinario e, infine, non si devono avere ostruzioni che impediscano l'entrata dei fluidi nella macchina. Il problema dell'umidità, invece, è legato in particolare all'isocianato, poiché, entrando a contatto con l'acqua, questo materiale forma una specie di pasta solida, ossia tende a cristallizzare, liberando anidride carbonica. Risulta quindi fondamentale che non vi siano perdite che possano costituire una fonte di contaminazione e dunque un problema per la produzione.

Per migliorare questi aspetti si potrebbe pensare di adottare le rispettive soluzioni:

1. Adottare altezze comuni tra gli stabilimenti italiano e rumeno, misura che già sta entrando in vigore con una campagna interna all'azienda. In questo modo gli stampi possono viaggiare tra le due sedi di produzione acquistando il vantaggio di poter essere utilizzati immediatamente, senza alcun ritocco o cambio di altezza. Questa unificazione a livello manutentivo risulta significativa poiché in questo modo, nel caso vi sia un qualunque difetto, il modo di intervento è identico, senza alcuna distinzione tra i due stabilimenti.
2. Inserire un programma di memoria delle cardature potrebbe rendere meno dispendiosa la regolazione del macchinario. Inoltre, la regolazione delle altezze suggerita al passo precedente potrebbe aiutare, oltre che i programmi di cardatura stessa, anche i problemi legati alla manutenzione. Si potrebbe infatti installare un altro aspiratore in una posizione che, a questo punto, sarebbe maggiormente

definita, permettendo di avere meno sporcizia dovuta alla polvere formatasi con l'abrasione.

3. Purtroppo, per quanto riguarda i materiali, risulta molto difficile controllare la colata. Ne consegue che il livello di pulizia spesso non può essere dei migliori. È difficile pensare di ridurre la colata immessa negli stampi perché, in questo modo, si potrebbe perdere la possibilità di ottenere l'intera suola. Considerando invece serbatoi e umidità, l'obiettivo è quello di inserire programmi di manutenzione preventiva che possano garantire una pressoché regolare disponibilità dei macchinari all'interno dei processi.

Oltre a questi problemi, che sono i più evidenti e quelli su cui è più facile porre l'attenzione poiché sono ciclici, si sommano diversi problemi di carattere non sistematico, ossia che coinvolgono i componenti delle diverse macchine. Queste problematiche sembrano non essere influenti poiché spesso la rottura di un componente è vista come un fatto straordinario. In realtà l'esperienza ha dimostrato che eventi di manutenzione al guasto, e dunque interventi di manutenzione dovuti a fatti inaspettati, una volta classificati e analizzati permettono di raccogliere e reperire informazioni riguardanti nuovi metodi di guasto e, in conseguenza, migliorare ed affinare gli interventi manutentivi in loro risposta. In effetti, il verificarsi di un guasto che non era ancora stato riscontrato porta a conoscere nuove criticità della macchina. Lo studio di queste criticità è fondamentale e deve essere analizzato sia per poter intervenire in modo efficace nella riparazione del guasto, sia per poter capire se il medesimo evento potrebbe verificarsi su altri componenti simili. Se così fosse sarebbe dunque necessario cercare di attivare una serie di misure preventive il cui scopo sarebbe quello di evitare il manifestarsi del guasto appena evidenziato.

Si è inoltre notato, attraverso la raccolta dei dati e soprattutto grazie all'esperienza dei manutentori, che ci sono componenti che si danneggiano più facilmente di altri e per cui sono necessarie azioni correttive più frequenti. Per questi elementi si è creato un calendario scadenzato con il quale è stato possibile spostare la manutenzione da correttiva a preventiva eliminando la possibilità di eventuali fermi della produzione.

Un'attenta analisi della situazione da parte della direzione ha tuttavia evidenziato la necessità di cominciare a implementare un più ampio piano di manutenzione interno all'azienda. Questo progetto si prefissa come obiettivo quello di poter fornire in modo dettagliato tutta una serie di informazioni mirate ad un più consapevole modalità di intervento sulle macchine, che si basi sull'analisi del dato e non sulla mera riparazione in risposta al danno verificatosi.

2.4 Obiettivi del sistema di manutenzione

Come detto, la direzione di Orion Spa ha deciso di intraprendere e dar vita a un piano miglioramento di prevenzione dei guasti e di regolazione della manutenzione con lo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi:

1. Ottimizzare i costi della manutenzione. Ciò che si vorrebbe ottenere è il raggiungimento del giusto equilibrio tra costo complessivo e benefici nella catena di produzione. L'ottimizzazione si può ottenere diminuendo i costi e cercando di mantenere il medesimo standard produttivo oppure aumentando i ricavi tenendo però costanti le spese. Inoltre, l'introduzione di un controllo di gestione permetterebbe di verificare il consuntivo a fronte di un budget preventivo di spesa precedentemente stabilito.
2. Aumentare la disponibilità produttiva delle attrezzature. Ricordando la Formula 1.3 del primo capitolo, poiché la disponibilità si trova come il rapporto tra il tempo medio tra i guasti e la somma tra il tempo medio tra i guasti e il tempo medio di riparazione, per aumentare la disponibilità delle attrezzature ciò che si deve ridurre è il tempo delle riparazioni. Ovviamente non si richiede di diminuire il tempo svolgendo azioni grossolane. Il compito invece è quello di svolgere, via via con l'avanzare del tempo, azioni ed interventi sempre più efficaci. Nel caso in cui, inoltre, si dovessero eseguire interventi preventivi, un'ottima tecnica per evitare lunghi tempi di riparazione, è quella nella quale si cerca di svolgere tutto il lavoro che non deve essere eseguito *in situ* prima di eseguire l'intervento medesimo, con lo scopo appunto di guadagnare del tempo utile.
3. Garantire il rispetto dei programmi di produzione. Come si era già accennato nell'ultimo paragrafo del primo capitolo, attraverso una adeguata manutenzione risulta più semplice poter determinare i prezzi a cui vendere i beni prodotti. Questo perché risulta meno probabile l'insorgenza di imprevisti che possano destabilizzare i cicli di lavorazione. Una adeguata manutenzione permette di calcolare e rispettare con più facilità tempi di consegna e programmi di produzione previsti al momento dell'accettazione dell'ordine fatto dai clienti.
4. Gestire cicli di vita dei macchinari. Spesso, in un sistema complesso, non tutti i macchinari facenti parte del sistema cominciano la loro attività nello stesso istante di tempo. Alcuni macchinari potrebbero essere già stati impiegati prima in lavorazioni precedenti, altri potrebbero essere stati acquistati successivamente, quando se ne è riscontrata la necessità. Il programma di manutenzione, grazie al suo storico, può dare molte informazioni riguardo le macchine e la loro storia, in particolare in alcuni momenti cruciali in cui è necessario capire se risulta più conveniente riparare o sostituire il macchinario stesso, oppure quando si deve stabilire la politica che si vuole effettuare sui ricambi.

5. Estendere il controllo della manutenzione e dei costi ad una gestione controllata, ossia poter garantire la programmabilità degli interventi, poter formulare un'idea di budget annuale dedicato alle risorse di manutenzione, poter confrontare le ore, mezzi, macchinari posti a preventivo con il consuntivo. Il raggiungimento di quest'ultimo obiettivo garantirebbe una realizzazione quasi completa dell'intero processo, Proprio per questo, quest'ultimo punto è quello che si vorrebbe raggiungere a livello aziendale per poter garantire un controllo, come detto, dei costi della manutenzione.

Tale esigenza di creare un sistema di manutenzione più accorto è sorta o si è resa necessaria soprattutto in un momento in cui si è verificato un intensificarsi dei guasti. Ciò potrebbe essere dovuto al fenomeno analizzato nel primo capitolo, rappresentato nella Figura 1.3, nella quale si vede un aumento dei guasti in relazione all'avanzamento della vita dei componenti (curva a "vasca da bagno"). Difatti, risulta probabile che i macchinari di produzione si stiano dirigendo verso il terzo periodo della loro fase di vita, ossia quello dell'usura e della vecchiaia. Questa ipotesi trova maggior fondamento se si considera che i macchinari vengono utilizzati per una produzione che, dal lunedì al venerdì, si estende su tre turni lavorativi, cioè su un ciclo di produzione continuo. È naturale quindi che il numero di ore effettive di lavoro accumulate dai macchinari sia ingente e, di conseguenza, che si sia raggiunta, probabilmente con un po' di anticipo rispetto alle previsioni, la fase di vita del sistema in cui risulta più frequente l'insorgenza dei guasti.

Nonostante questo, i macchinari possano sicuramente proseguire ancora per anni nei loro impieghi, fatta eccezione nel caso dovessero subire guasti tali da esigerne forzatamente la sostituzione. Giustamente però, la dirigenza di Orion Spa ha pensato di arginare il fenomeno dei guasti con l'introduzione di un progetto di manutenzione che possa portare, come fine ultimo, alla previsione del guasto e all'introduzione di una politica di manutenzione ciclica o su condizione, il cui obiettivo si configura nel limitare o eliminare completamente i cosiddetti "guasti tipici".

Ogni sistema si comporta in modo diverso e dunque è indispensabile monitorarlo lungo il suo ciclo di vita. Risulterebbe probabilmente più semplice un'analisi del guasto in un lasso di tempo in cui la macchina si trova ancora nel suo periodo di vita utile, cioè quando i guasti sono maggiormente intervallati tra loro, quindi di più facile studio; tuttavia nulla esclude che il tutto non possa essere svolto anche quando i macchinari si trovino in età più avanzata. Importante è sottolineare come l'introduzione di un progetto di carattere manutentivo si configuri sempre con un avanzamento a livello d'impresa. Infatti, l'esperienza accumulata potrà sempre essere adottata in futuro anche per i nuovi macchinari e le nuove tecnologie che verranno introdotte nella produzione.

2.5 L'analisi FMECA

L'attività manutentiva, al giorno d'oggi, prende vita inizialmente da uno studio di carattere prevalentemente teorico, che si basa però sull'analisi dei dati reali. Tale studio è conosciuto come analisi FMECA.

La FMECA, acronimo di *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*, in italiano viene tradotta come Analisi dei Modi, degli Effetti e della Criticità dei Guasti ed è una delle principali metodologie che consente di individuare e controllare gli elementi tecnici che hanno impatto sulla affidabilità dei sistemi.

L'analisi mette in evidenza le modalità di guasto che hanno nello stesso tempo una probabilità di accadere relativamente alta unita ad un'alta gravità di conseguenze, mettendo in evidenza i punti di debolezza di un progetto, sui quali occorre intervenire con adeguate modifiche.

La FMECA è una tecnica conosciuta da tempo, cioè da quando tecnici e ingegneri coinvolti in progettazioni complesse si sforzavano di intravedere e comprendere la possibile presenza di rischi derivanti da potenziali modi di guasto durante la vita operativa dei sistemi da realizzare.

Con il passare degli anni l'analisi si è affinata e, con l'esperienza ottenuta attraverso i diversi studi nei differenti campi dell'ingegneria in cui si è ricorsi al suo utilizzo, è stato possibile soffermarsi su due considerazioni principali, secondo cui:

- Pochi componenti procurano grandi quantità di problemi, sui quali è fondamentale soffermarsi;
- I componenti soggetti a guasto sono una piccola frazione rispetto a tutti quelli che fanno parte del sistema.

Da queste semplici considerazioni si deduce dunque che non si tarderà molto nell'individuare quali siano i componenti critici del sistema che si dovrà studiare, poiché saranno proprio gli elementi che più di frequente si danneggeranno. Ne segue che, una volta trovata soluzione a questi eventi più frequenti, attraverso una riprogettazione o l'implementazione di una valida strategia di mantenimento preventivo, si risolveranno una buona parte dei problemi a cui può essere soggetto il sistema.

Tuttavia, a livello generale si può dire che, sulla base di esperienze consolidate, l'utilizzo sistematico della FMECA può portare ad individuare dal 50 all'80% dei modi di guasto. Inoltre, grazie alla sistematica raccolta di dati si può migliorare la disponibilità dei macchinari in uso e l'affidabilità dei macchinari che si stanno progettando.

L'analisi FMECA, per come la presenta Vito D'incognito nel suo libro "Progettare il sistema manutenzione" si compone di sette passi che si vanno ora ad analizzare.

2.5.1 Livello di scomposizione

Nella prima fase dell'analisi FMECA si definisce il più piccolo livello del sistema dal quale iniziare l'analisi (macchina intera, gruppi funzionali, parti, assiemi, sottoassiemi, componenti). Naturalmente a seconda del livello di specificità o meno della scomposizione seguono vantaggi o svantaggi:

- Una specificità alta, ossia un livello di scomposizione minuzioso, sicuramente garantisce un'analisi ottimale e una gestione dettagliata del sistema. D'altra parte, questo comporta una ampia estensione dei tempi per la raccolta dei dati e un quantitativo ingente di informazioni da gestire;
- Una specificità minore, ossia un livello di aggregazione maggiore, se da un lato permette di investire minor tempo nella raccolta dei dati e diminuisce il numero di informazioni da gestire, dall'altro crea la possibilità di trascurare alcuni particolari rilevanti dall'analisi.

In realtà il livello di specificità che può essere raggiunto, molto spesso, non è solo determinato dalla scelta dell'ingegnere o dal responsabile della manutenzione. Vi sono alcuni criteri che possono limitare l'investigazione come:

- I tempi e le risorse disponibili: a seconda dell'urgenza con cui deve entrare in atto il programma di manutenzione e secondo l'abilità di colui che lo sta gestendo, il livello di dettaglio della scomposizione può variare;
- Il budget disponibile: permette di mettere in campo più o meno risorse per il raggiungimento di un obiettivo dettagliato o meno;
- La conoscenza delle funzioni e delle parti del sistema: se un danno avviene per un determinato componente che ipoteticamente si trova ad un livello più basso di quello assunto, è bene proseguire con il livello di dettaglio; se al contrario si è troppo specifici e il danno avviene sempre ad un livello superiore rispetto a quello che si è perso come riferimento, è bene limitare il dettaglio;
- Introduzione di nuove parti: prevedono d'obbligo l'aumentare il livello di conoscenza del sistema.

2.5.2 Modi di guasto

La seconda fase dell'analisi FMECA prevede di prendere in considerazione uno ad uno tutti i componenti che sono stati posti all'ultimo livello nella scomposizione effettuata al passo uno. Per questi elementi si devono elencare tutti i possibili modi di guasto. I guasti possono essere di tipo elettrico, elettronico o meccanico.

Per facilitare l'individuazione dei modi di guasto si suggeriscono alcuni fenomeni collegati a possibili cause che portano al danno, come ad esempio:

- Ambiente ostile;
- Selezione errata dei materiali;

- Sollecitazioni meccaniche;
- Effetti termici;
- Usura o attriti;
- Invecchiamento;
- Assemblaggio forzato;
- Frizioni;
- Tenute;
- Parti rotati;
- Collegamenti.

È importante in questa fase non individuare il modo di guasto attraverso l'effetto che questo comporta sul macchinario. Se, per esempio, un compressore non esercita la potenza richiesta, non si deve indicare il modo di guasto come "potenza ridotta". Così facendo si sta confondendo la causa con l'effetto. Le cause veritiere del modo di guasto potrebbero esser perdite di pressione lungo le condotte, filtri intasati da sporcizia, collegamenti schiacciati o deformati che ostacolano il passaggio del fluido.

Oltre all'individuazione dei modi di guasto principali, sempre in questa fase, è bene tener in conto anche le catene casuali, ossia un effetto provocato da qualche causa può essere, a sua volta, causa di un diverso effetto riguardante lo stesso o un altro componente. Ne risulta che, anche in questo caso, si possono confondere gli effetti con le cause. La conseguenza derivante da una interpretazione errata della causa del modo di guasto si evidenzerebbe con la ripetizione del medesimo guasto nonostante le azioni manutentive adottate.

Poiché per intervenire con efficacia la manutenzione esige l'individuazione della corretta fonte del modo di guasto, si dovrà proseguire in una più attenta analisi fino a giungere alla causa primaria e, in seguito, intervenire su di essa.

Per non incorrere in errori ed equivoci la definizione del modo di guasto deve essere semplice e chiara, includendo solamente due componenti:

- La parte fisica interessata;
- Un attributo che definisca cosa è avvenuto.

Nell'esempio precedente il modo di guasto potrebbe essere "filtro intasato".

2.5.3 Frequenze di guasti

In questa terza fase si vanno a stimare o definire le frequenze dei modi di guasto che sono stati elencati nel punto precedente. Queste frequenze devono essere concepite come numero di eventi che presumibilmente si verificheranno in un certo intervallo di tempo.

Solitamente queste frequenze, quando vengono stimate dai responsabili dei reparti o dagli operai delle macchine, tendono sempre ad essere sottostimate. Considerando però che la manutenzione ha a che fare con il rischio che si verifichi o meno un determinato evento che danneggia il sistema, è bene sempre tener conto che la valutazione è migliore se cautelativa,

cioè se si abbraccia l'eventualità che la frequenza sia ragionevolmente più alta di quella stimata (ipotesi che nella maggioranza dei casi si rivela essere veritiera). Risulta convenevole dunque, in mancanza di dati certi, aumentare il valore stimato della frequenza del guasto.

A volte può risultare utile per la stima la conoscenza della “vita media attesa” e della deviazione standard tipica di una certa percentuale di componenti. In questo modo, attraverso lo studio di alcune distribuzioni si può ricavare la probabilità dei guasti a differenti età operative del sistema.

Molto spesso i dati delle frequenze di guasto fanno riferimento ad un arco di tempo di un anno lavorativo.

2.5.4 Analisi degli effetti dei modi di guasto

Nella quarta fase dell'analisi FMECA si valutano gli effetti che ciascun modo di guasto provoca sul sistema nel suo complesso (più propriamente sul più elevato livello di aggregazione che il sistema possiede).

Per questo, per ogni modo di guasto, si valuta se il danno comporta conseguenze al livello superiore, fino a quando non si giunge al livello del sistema completo. In questa fase è opportuno considerare la combinazione che due o più guasti contemporanei possono causare.

Il metodo che generalmente si usa poiché semplice e intuitivo, è quello dell'albero dei guasti (FTA – *Fault Tree Analysis*). Questa tecnica considera infatti l'evento più catastrofico che può accadere al sistema e, da qui, scende nelle diverse scomposizioni delle parti evidenziando quali di esse sono quelle che lo potrebbero determinare.

La quarta fase termina con la classificazione degli effetti che si riscontrano in risposta al guasto del singolo componente, valutando l'effetto che produce a livello di sistema.

2.5.5 Misura degli effetti dei modi di guasto

La quinta fase dell'analisi FMECA prevede che si valutino le misure degli effetti di ciascun modo di guasto evidenziato nella quarta fase. Per questo motivo è necessario creare una scala di misura che possa evidenziare le conseguenze, risultanti dal verificarsi del modo di guasto, per l'operatore, utilizzatore o cliente, a seconda del componente che si sta studiando.

Solitamente, i livelli della scala più critici fanno riferimento ai guasti che possono provocare danni economici e materiali ingenti o che possono affettare la sicurezza.

Le scale di misura generalmente si compongono di quattro livelli, così divisi:

- Livello catastrofico – categoria I: modo di guasto che può provocare morti o danni economici ingenti;

- Livello critico – categoria II: modo di guasto che può provocare feriti gravi, grossi danni alla proprietà o che compromette la funzione richiesta;
- Livello marginale – categoria III: modo di guasto che può provocare feriti leggeri, piccoli danni alla proprietà, piccoli inconvenienti al sistema, come ritardi o diminuzione dell'affidabilità;
- Livello minore – categoria IV: modo di guasto che non può provocare feriti, né danni alla proprietà, ma che richiede un atto di manutenzione.

Naturalmente le categorie possono essere aumentate o diminuite a seconda dell'esigenza, anche se, generalmente, ciò non avviene.

2.5.6 Misura della criticità dei modi di guasto

La sesta fase dell'analisi ha come obiettivo quello di creare un indicatore di criticità che tenga conto, in modo pesato, della frequenza del guasto e della gravità delle conseguenze che comporta il verificarsi.

È pressoché impossibile creare una scala universale, poiché ogni azienda possiede criticità diverse che difficilmente sono accomunabili.

2.5.7 Interventi correttivi

L'ultima fase dell'analisi impone di trovare azioni di correzione efficaci ai modi di guasto che evidenziano i livelli di criticità maggiori.

Queste azioni correttive possono essere modifiche di progetto, riconfigurazioni di alcune parti, riduzione dei modi di guasto.

Questo ultimo punto può essere risolto attraverso due modalità:

- Riduzione della frequenza dei guasti, attraverso il rafforzamento dei componenti o programmando adeguati interventi di manutenzione preventiva;
- Riduzione delle conseguenze del guasto una volta che questo dovesse verificarsi, attraverso il miglioramento di quegli aspetti legati in modo diretto alle conseguenze del guasto (in una impresa che produce materiale infiammabile prevedere un adeguato sistema di antincendio e migliorare le vie di fuga).

Le due alternative, non escludendosi vicendevolmente, possono essere utilizzate in modo sinergico.

2.5.8 Aspetti operativi

Come evidenzia la trattazione, l'analisi FMECA non risulta né banale né rapida. Per questi motivi essa richiede tempo, competenze e volontà di applicazione.

Solitamente ci si affida a software che permettono un miglior controllo di gestione in caso di modifiche o evoluzioni del sistema.

Ovviamente è possibile effettuare il tutto anche manualmente avvalendosi di opportune modulistiche o tabelle (Figura 2.4).

Componente	Codice identificazione o numero di riferimento	Modo di guasto	Frequenza	Effetto	Conseguenze effetto	Criticità	Intervento correttivo	Note

Figura 2.4: Esempio di tabella per l'analisi FMECA

Se ne vuole dare qui un esempio:

Componente	Codice identificazione o numero di riferimento	Modo di guasto	Frequenza	Effetto	Conseguenze effetto	Criticità	Intervento correttivo	Note
Valvola di regolazione	XX-ABCD-29	Blocco (in qualsiasi posizione)	$0,02 \times 10^{-6}$ H^{-1}	Impedita circolazione fluido attuatore	Attuatore bloccato o inservibile	Media	Sostituzione valvola	Procedura P.O. NM° 29

Figura 2.5: Esempio di analisi FMECA per un componente

Capitolo 3

Scomposizione dell'isola di lavoro e obiettivi della FMECA

Dopo aver presentato le fasi dell'analisi FMECA dal punto di vista teorico, nel terzo capitolo se ne analizzerà la sua applicazione. Il progetto pilota che si era deciso di avviare riguardava lo studio dell'insieme di tutti i macchinari che costituiscono una singola isola di produzione del reparto iniezione. Ciò nonostante, procedendo con le diverse attività si è riscontrato che, date le evidenti somiglianze tra le diverse isole di iniezione, il progetto poteva già racchiudere lo studio di tutte le macchine. In questo capitolo tuttavia si farà riferimento solo ad una isola, in modo tale da non far risultare pesante il testo e non dover sempre specificare a che isola si riferiscano le considerazioni a cui si è giunti.

3.1 Descrizione dell'isola di lavoro

Come già detto, ciascuna delle quattro isole produttive del reparto iniezione è un complesso sistema formato da più macchine operatrici fortemente legate tra loro. Infatti, in diversi casi, un guasto che colpisce un qualsiasi macchinario comporta il blocco del sistema intero. Si vogliono qui ricordare i macchinari principali che costituiscono il sistema:

- Giostra rotante: è il macchinario fondamentale attorno al quale vengono eseguite tutte le lavorazioni ed è costituita da 24 stazioni, ciascuna delle quali munita di diversi pistoni che controllano la rotazione della forma e *falsa forma*, l'abbassamento/innalzamento della *zappa* o del *portaforme*, la chiusura degli *anelli*;
- Robot distaccante: braccio meccanico antropomorfo il cui compito è quello di spruzzare il distaccante sulle *zeppe* per evitare il fissaggio, non desiderato, del poliuretano alla *falsa forma*;
- Pompa di iniezione di poliuretano 1: permette di iniettare il poliuretano in modo da creare il battistrada;
- Pompa di poliuretano compatto: uguale alla precedente con l'unica differenza di colare TPU invece di PU;
- Cardatore: braccio meccanico antropomorfo con testina abrasiva la cui funzione è quella di incidere la tomaia per favorirne, successivamente, un miglior attacco alla suola in poliuretano espanso;
- Pompa di iniezione poliuretano 2: pompa per la creazione, mediante colata di poliuretano espanso, della suola.

Tra i guasti più comuni dal punto di vista manutentivo si evidenziano:

- le perdite di olio dei pistoni, dovute a una perdita funzionale della tenuta delle guarnizioni (specialmente pistoni di rotazione e innalzamento/abbassamento delle forme);
- la parziale otturazione delle valvole di isocianato, poiché questo materiale, a contatto con l'umidità presente nell'aria, tende ad assumere una consistenza quasi solida. D'altra parte, però, la cristallizzazione a volte può essere un segno premonitore di eventuali perdite lungo le tubature. Qualora si riesca a cogliere questo segnale è possibile risolvere il problema già alla radice, senza incorrere in perdite di materiale o rotture dei condotti più gravose, che comprometterebbero in maniera maggiore la produzione;
- la scorretta miscelazione della colorazione delle suole dovuta a *preflussi*. Questo problema solitamente viene risolto dopo svariati tentativi ed è dovuto ad una mal regolazione della valvola di uscita del colore. Si ottiene infatti l'effetto per cui la quantità di colore che fuoriesce inizialmente è molto concentrata rispetto alle dosi di poliolo e isocianato con cui si associa, mentre, al termine della colata, la concentrazione diminuisce in modo consistente (l'introduzione della colorazione a volte termina prima che termini la colata di poliuretano). Ciò che risulta sono suole "maculate" o con colorazioni differenti procedendo "da tacco a punta".

Oltre alle fermate causate dai guasti, vi sono anche blocchi della produzione dovuti ad alcune situazioni rese obbligatorie dalle condizioni e dai metodi di lavoro. Tra queste fermate vi figurano ad esempio:

- cambio vite nelle macchine per la colata del poliuretano: azione di pulizia dovuta al parziale intasamento della vite a causa di una pre-solidificazione della miscela quando ancora è dentro la macchina. Queste fermate sono necessarie dopo circa ogni ora e mezza di lavorazione. La vite infatti viene smontata, pulita e ingrassata in modo tale che l'intera miscela possa fuoriuscire facilmente. Ovviamente questo effetto prodotto dal grasso va diminuendo con il numero delle colate eseguite e, per questo, è necessaria una pausa per provvedere alla pulizia della vite stessa;
- cambi stampi: necessari per la creazione dei diversi modelli. Qualora vi siano anche da regolare le altezze delle forme i tempi si dilatano considerevolmente;
- programmi di cardatura dei nuovi modelli: necessari per una corretta abrasione delle tomaie, impiegano per essere creati tra i 15 e 20 minuti per singola scarpa.

Se per queste fermate non vi sono molte possibilità di miglioramento o accorciamento dei tempi, un adeguato studio dei modi di guasto può portare a limitare i blocchi di produzione dovuti al verificarsi dei guasti medesimi.

3.2 Scomposizione e codifica dei macchinari

Come si era visto nel capitolo precedente, l'analisi FMECA ha inizio con la scomposizione della macchina nelle sue diverse parti. Questa scomposizione, si ricorda, non deve rispettare la scomposizione fisica del macchinario, ma deve essere una scomposizione finalizzata alla manutenzione, ossia che finisca nel momento in cui si raggiunge un livello di specificità del componente utile per una correzione agile e proficua.

Per chiarire meglio questo concetto si presenta un semplice esempio.

Tutti i componenti elettronici devono possedere per il loro naturale funzionamento una o più schede elettroniche. A livello di scomposizione componente, qualora si volesse procedere ad un livello di specificità altissimo, si potrebbe suddividere la scheda elettronica nelle sue diverse componenti, come la scheda madre, la scheda video, la scheda audio, la scheda CPU, la scheda di memoria e così via. Questo tipo di scomposizione, che può benissimo essere fatto nel caso si voglia capire le diverse componentistiche della macchina, risulta essere completamente inutile a livello della manutenzione. Infatti, qualora venisse a verificarsi un guasto alla scheda elettronica, si valuterebbe immediatamente la sua sostituzione totale come componente, senza procedere nell'investigazione andando a scovare quale sia il collegamento o la sub memoria che si è guastata. Ecco quindi che il grado di dettaglio a cui può fermarsi una scomposizione eseguita per motivi manutentivi è diversa da quella che si esegue per conoscere il macchinario, perché diversi sono gli obiettivi che si devono raggiungere.

Per eseguire la scomposizione si può inizialmente fare affidamento ai manuali d'uso e manutenzione dati dai fornitori degli impianti stessi. Solitamente, infatti, vengono qui evidenziati quei componenti che sono importanti per la manutenzione. Se la macchina poi è già operativa, è bene osservare le funzioni e le azioni che essa svolge, poiché anche un approccio di tipo diretto può essere utile per individuare componenti utili alla scomposizione.

L'attività di scomposizione può essere eseguita secondo due modalità:

1. Scomposizione per settori costitutivi o gruppi fisici, viene utilizzata solitamente per i sistemi "concentrati", che non hanno propaggini dislocate o distribuite in parti diverse del sistema (robot antropomorfi, robot cartesiani, manipolatori);
2. Scomposizione per gruppi funzionali o assiemi funzionali, si avvale di logiche legate al "profilo di missione" della macchina, dal quale ricavare le funzioni principali ed i sistemi funzionali che le realizzano. Le parti costitutive del sistema possono essere distribuite fisicamente in punti diversi del macchinario (impianti elettrico, idraulico, pneumatico).

La suddivisione, in ogni caso, qualunque sia la modalità scelta, viene fatta per livelli. Anche se la scomposizione potrebbe procedere a piacere fino ad un numero di livelli che si ritenesse opportuno per descrivere le diverse parti, è consuetudine, per non creare confusione, limitare il numero di livelli utilizzati.

Solitamente la divisione si sviluppa nel seguente modo:

- I° livello: è il livello più generale in assoluto ed è quello in cui viene indicata la macchina principale che si sta analizzando;
- II° livello: si procede con una minor generalizzazione, in particolare indicando l'assieme funzionale a cui si fa riferimento;
- III° livello: si inizia ad essere specifici, arrivando a definire il sottoassieme o gruppo fisico oggetto di studio;
- IV° livello: è il livello di specificità maggiore, livello dove si indica il componente critico che è maggiormente soggetto al guasto. In realtà ciò che si indica in questa colonna è in tutto e per tutto il ricambio che deve essere utilizzato per far fronte al guasto.

TAKE CARE		Stabilimento: Impianto: Operazione:					
Cod.	I livello	Cod.	II livello	Cod.	III livello	Cod.	IV livello
AAA	Macchina	B	Assiemi funzionali	C	Sottoassiemi o gruppi fisici	DD	Componenti critici

Figura 3.4: Esempio di tabella per la scomposizione della macchina

La Figura 3.1 riporta in modo ordinato quanto appena descritto nell'elenco. In aggiunta ai livelli indicati si può vedere, a fianco di ciascuna colonna, una seconda colonna dove si inserisce il codice di identificazione della rispettiva macchina, assieme funzionale, sottoassieme o gruppo fisico ed infine componente critico.

Nel caso esposto il codice utilizzato è di tipo alfabetico. Solitamente tuttavia risulta essere completamente numerico o alfanumerico.

Il codice permette di individuare rapidamente quale componente sia andato incontro al guasto e, di conseguenza, potrà successivamente indicare quale dovrà essere il componente o sottosistema su cui si dovrà intervenire per procedere alla riparazione del macchinario.

3.2.1 Scomposizione dei macchinari dell'isola di lavoro

Seguendo le istruzioni appena fornite si è cercato di realizzare una scomposizione delle diverse macchine costituenti l'isola di iniezione. Per ottenere il risultato, contenuto nell'Appendice A "Scomposizione e codifica dei macchinari", si è reso necessario uno studio dei manuali dei differenti macchinari, l'osservazione effettiva del lavoro delle macchine e, soprattutto, la collaborazione dei tecnici di manutenzione, senza il cui aiuto il lavoro sarebbe certamente stato più lungo e difficoltoso. La loro esperienza è servita a rendere manifesti alcuni modi di guasto che, nel periodo di osservazione in cui si è studiata la macchina, non si erano verificati.

Nella scomposizione si è tenuto conto che alcuni componenti possiedono grandi interazioni tra loro, soprattutto componenti meccanici (ad esempio i componenti interni ad un motore). Nel caso si sia verificata tale eventualità si è valutato, in modo specifico per ogni caso, se fosse opportuno andare più a fondo con la scomposizione (nel caso del motore suddividerlo in pistone, corpo del cilindro, camera di combustione e così via) o se convenisse fermarsi ad un livello di specificità inferiore (nel caso del motore indicare solamente il motore appunto). Un rapido sguardo ai risultati dell'Appendice A renderà subito chiaro al lettore che si è preferito in alcuni casi fermarsi al III° livello di specificità rispetto che proseguire fino al IV°. Questo non per pigrizia durante la scomposizione dei macchinari ma per il semplice fatto che, grazie al consiglio e all'esperienza dei manutentori, è stato possibile segnalare fin da subito come fosse più opportuno fermarsi ad un livello inferiore di specificità, senza procedere in un'indagine che sarebbe stata infruttuosa per gli obiettivi richiesti. Infatti, è stato segnalato dagli stessi operatori come, molte volte, soprattutto per esigenze di costi e di tempi, sia preferibile sostituire direttamente il sottoassieme piuttosto che un componente più specifico.

In sostanza il metodo seguito è quello chiamato *Line Replaceable Unit* (LRU), metodo utilizzato per decidere quale sia il livello più opportuno a cui fermare la scomposizione delle parti lungo la linea di produzione

. Secondo tale metodologia la parte che viene sostituita in linea detta quale sia l'ultimo livello di scomposizione della macchina che si deve prendere in considerazione. Se quindi, secondo tale metodologia, risultasse opportuno fermarsi al livello di sottoassieme, questo significherebbe che, qualunque fosse il guasto che si verificasse all'interno del sottoassieme medesimo, tale guasto si evidenzierà con il mancato funzionamento del detto sottoassieme, che, dunque, verrà sostituito, poiché si sarà ritenuto troppo oneroso, in termini di costi o ore di lavoro, procedere ad un livello più specifico di scomposizione.

Dalla logica LRU si definiscono quelle che sono chiamate "Unità significative per la manutenzione", Usm. In realtà questo è solamente un altro termine per identificare quale sia la parte di ricambio che sarà sostituita nel caso di manutenzione dopo un guasto.

3.2.2 Codifica dei macchinari dell'isola di lavoro

Una volta eseguita la scomposizione dei macchinari è opportuno affiancare un adeguato sistema di codifica. Questa azione è abbastanza rapida ma non banale. La codifica infatti, se eseguita opportunamente, permette di mantenere intatta la “struttura ad albero” della macchina, la quale potrebbe essere persa se la scomposizione precedentemente svolta venisse fatta senza criterio.

Il metodo con cui si esegue una codifica è semplice. Solitamente la codifica è numerica, così da essere rapida e efficace, sebbene nulla vieti l'introduzione e l'uso di lettere. La spiegazione che verrà data in seguito prende come base di partenza il presupposto secondo cui, nel caso esplicito, si tendano ad usare solo numeri.

Il primo passo per eseguire una codifica adeguata è capire quanti siano i livelli di scomposizione in cui è stata suddivisa la macchina. Occorre infatti avere almeno una cifra a disposizione per identificare ogni livello di suddivisione. Ad esempio, se si considerano i quattro livelli standard, avere almeno quattro cifre.

In secondo luogo, è bene valutare quanti elementi si abbiano per singolo livello, ed in particolare quanti elementi siano legati al medesimo componente del livello più alto. Infatti, qualora si avessero più di nove elementi tutti legati al medesimo componente, è evidente che una sola cifra assegnata a quel livello non permetterebbe di codificare tutti gli elementi in modo opportuno. Risulta quindi necessario, per permettere una corretta codifica, assegnare a quel livello almeno due cifre.

Ultimo aspetto riguarda la presenza di due componenti molto simili che possono cambiare solo per una determinata caratteristica ma che, di base, hanno le stesse funzionalità. Questi componenti sono quindi considerati come varianti e possono essere distinte attraverso l'aggiunta di una lettera finale nel caso di un codice completamente numerico. Ad esempio, un dado per il fissaggio potrebbe essere normale o cieco. Le due varianti, della stessa misura ovviamente, possono essere codificate con il codice 1111A e 1111B poiché danno la medesima funzione di servizio ma sono differenti nell'aspetto. Se fosse inoltre presente la possibilità di utilizzare un bullone autobloccante questo potrebbe essere identificato attraverso il codice 1111C.

In tabella si danno due esempi di come potrebbe avvenire una codifica numerica.

Tabella 3.1: Esempi di codifica

Livello	Codifica 1	Codifica 2
I°	1000	1
II°	1100 ÷ 1900	1.1 ÷ 1.9
III°	1110 ÷ 1190	1.1.1 ÷ 1.1.9
IV°	1111 ÷ 1119	1.1.1.1 ÷ 1.1.1.9

Come si può facilmente dedurre non c'è un'unica modalità per creare un sistema di codifica. L'importante è che la codifica sia semplice, intuitiva e non lasci spazio a equivoci. Ogni azienda può configurare un proprio metodo di codifica purché sia efficace.

La "struttura ad albero" del macchinario, come detto prima, si conserva attraverso la sequenzialità delle cifre, in modo tale che, preso un qualsiasi elemento, che sia esso un sottoassieme o un ricambio, sia possibile sempre risalire a quale macchina appartenga.

La convenienza di un sistema di codifica si evidenzia anche quando, nell'eventualità si verifichi un guasto, si debba comunicare all'ufficio acquisti, nel caso si debbano comprare i pezzi di ricambio, o ai manutentori, nel caso si debbano eseguire degli interventi, un codice invece che un nome, il quale, inevitabilmente, dovrebbe essere cercato in una distinta base per evitare di andare incontro ad errori o fraintendimenti.

Dal punto di vista manutentivo la codifica svolge un altro ruolo molto importante. Infatti, attraverso il codice è possibile conoscere la storia di un componente. Per essere più precisi, il codice permette di capire quali siano i componenti che maggiormente si guastano, poiché i loro numeri di codifica appariranno molte più volte in documenti e ordini di acquisto, e dunque risulterà più facile capire i costi, sia diretti, come il prezzo di acquisto, sia indiretti, come la manodopera per la loro sostituzione, legati a questi componenti.

Si prenda ora in considerazione la scomposizione delle macchine del reparto iniezione di Orion Spa. Si è considerato opportuno mantenere la divisione presentata, basta su quattro livelli e raffigurata in Figura 3.1. La codifica tuttavia si suddivide, in realtà, in due codifiche differenti. I quattro livelli sono stati raggruppati in due gruppi: nel primo sono stati uniti i primi tre livelli mentre il secondo è composto dai soli ricambi. La codifica è così strutturata:

- I° livello: codifica a quattro cifre con progressione di 5 cifre in 5;
- II° livello: codifica di due cifre con numerazione a cifre progressive;
- III° livello: codifica a due cifre con progressione di 5 cifre in 5;
- IV° livello: codifica a tre lettere e sei cifre casuali ottenute attraverso l'uso di un foglio elettronico Excel.

La necessità di porre due o più cifre per la identificazione delle diverse parti è stata condizionata dal numero elevato delle stesse. In alcuni casi infatti non sarebbe stato possibile attribuire a ciascun componente un codice identificativo distinto se si fossero utilizzate meno cifre.

I primi tre livelli sono accomunati dal fatto che la codifica di ogni componente che si trova ad un livello più basso riprende la codifica del componente a livello più alto. Volendo fare un esempio, se la macchina al primo livello riceve il codice 0105, il primo assieme funzionale ad essa riferito verrà identificato attraverso il codice 010501. La prima parte della codifica permetterà di capire quale sia la macchina padre, mentre la seconda parte specifica quale degli assiami funzionali della macchina principale si stia considerando. A

sua volta il primo sottoassieme dell'assieme funzionale sarà codificato con la serie di cifre 01050105, per permetter nuovamente di riconoscere la struttura ad albero attraverso la prima parte del codice e identificare il sottoassieme stesso con la seconda parte.

Per quanto riguarda i ricambi si è optato per una codifica a parte poiché si è notato come, per molti di essi, esistesse la possibilità di essere utilizzati non solo in più parti all'interno della macchina stessa, ma anche nelle altre macchine delle altre isole di iniezione. Creare quindi un sistema di codifica che avesse mantenuto la struttura ad albero, ossia ad esempio codificare un ricambio con il codice 010501050001, avrebbe creato più svantaggi che vantaggi. Operando in questo modo si sarebbe giunti al paradosso per cui il medesimo pezzo, che per esempio viene utilizzato per far fronte ad un guasto che avviene in una delle 24 stazioni della giostra di rotazione, avrebbe avuto 24 codici diversi all'interno della giostra stessa, essendo tuttavia sempre, di fatto, il medesimo componente. Inoltre, questo dilagare di codici si sarebbe ripetuto per le altre tre isole di iniezione, arrivando così ad avere 96 codici distinti per identificare il medesimo pezzo di ricambio. Certamente si sarebbe rispettata la struttura ad albero, ma lo svantaggio è evidente.

Si è voluto procedere dunque con un sistema differente. I diversi ricambi sono stati codificati con l'uso di tre lettere e sei cifre casuali. Le lettere identificano a quale categoria merceologica appartiene il componente, distinguendolo tra:

- MEC – meccanico;
- PNU – pneumatico;
- OLD – oleodinamico;
- ELT – elettrico;
- DIS – di distribuzione;
- LBR – lubrificante;
- ELN – elettronico.

Le cifre invece sono state, appunto, attribuite casualmente poiché il componente non deve richiamare nessuna collocazione precisa dal momento che può essere usato in più parti differenti. Il vantaggio risiede proprio nel fatto che ciascun ricambio necessita, come giusto, di essere codificato solamente una volta, dopodiché verrà assegnato a tutte le macchine dove potrebbe essere utilizzato. Riprendendo il discorso appena fatto il beneficio risulta chiaro: presa una guarnizione di un pistone presente nelle 24 stazioni, basterà codificarla solo una volta, per esempio OLD932274, evitando di creare 24 codici distinti. Si vuole specificare che tutti i componenti intesi come 'ricambi di qualcosa' sono stati codificati in questo modo, anche se figurano a livello di assieme funzionale o sottoassieme. I risultati ottenuti sono presentati insieme alla scomposizione di macchina e si possono trovare sempre nell'Appendice A: Scomposizione e codifica dei macchinari.

3.3 Analisi FMECA del sistema produttivo

La scomposizione e codifica delle macchine, come è possibile vedere dalla Figura 3.2, è il passaggio fondamentale da compiere per poter raggiungere gli obiettivi che l'analisi FMECA si propone di soddisfare una volta applicata ad un sistema produttivo.

Come si è visto nel secondo capitolo, l'analisi FMECA prevede innumerevoli fasi. Viste prima in modo generale, ora si cercherà di contestualizzarle e descriverle in maniera più approfondita. L'obiettivo che ci si prefigge di raggiungere è quello di ottenere un'adeguata consapevolezza dei modi di guasto per poter così procedere ad un'analisi di criticità, il cui scopo è evidenziare gli elementi su cui concentrare l'analisi, un'analisi delle cause, il cui scopo è la definizione del piano di manutenzione preventiva, e infine una analisi per la manutenzione correttiva, con lo scopo di definire le procedure corrette di riparazione o sostituzione dei componenti.

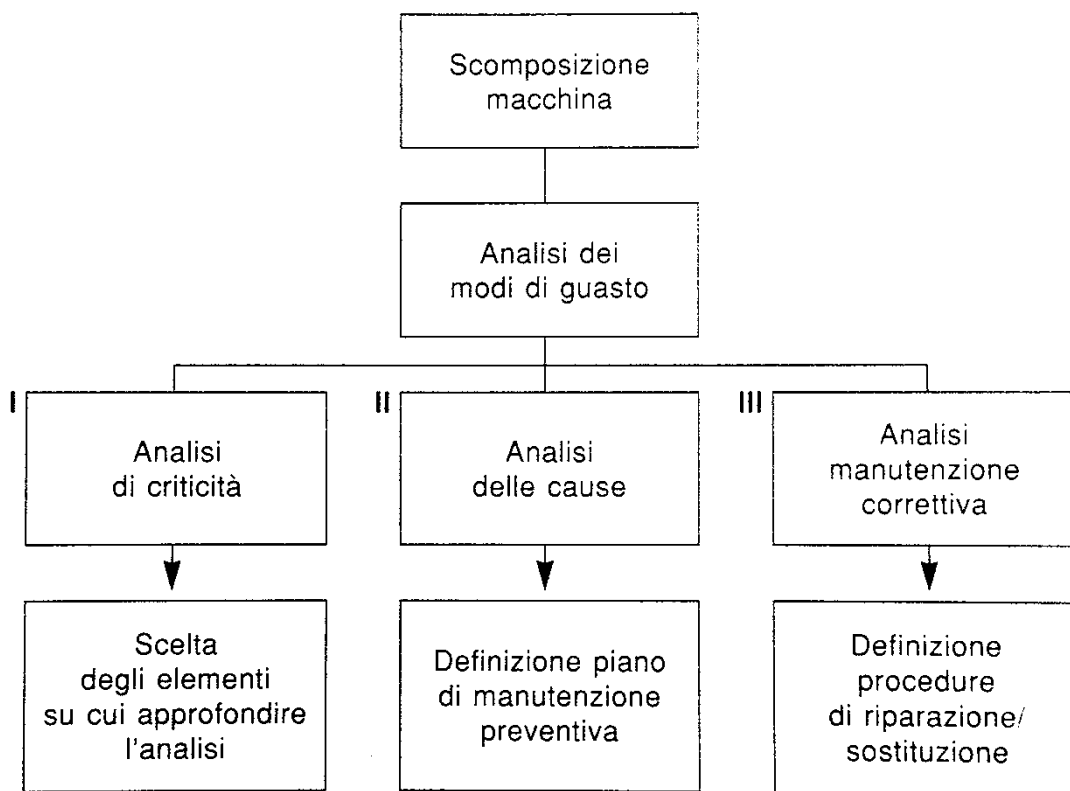


Figura 3.5: I tre obiettivi dell'analisi FMECA

Sotto il primo punto confluiscono i dati della frequenza, durata e conseguenze dei guasti, in modo da poter ricavare, attraverso appositi valori, i pesi complessivi delle criticità. In

questo modo è possibile creare una scala di importanza secondo la criticità e, in tal maniera, stabilire su quali guasti è opportuno proseguire l'analisi e per quali no.

Nel secondo punto si cercano di individuare le cause, le modalità eventuali di propagazione e la presenza di un possibile segnale premonitore del guasto che possa permettere di attuare una manutenzione di tipo preventivo.

La prevenzione può essere attuata attraverso il monitoraggio del segnale debole, attraverso la rimozione o la neutralizzazione della causa.

L'ultimo punto cerca attraverso la ricerca delle informazioni relative all'intervento manutentivo, a guasto avvenuto, di puntare ad individuare le smagliature disorganizzative, per razionalizzarle e migliorarle.

Questo modello di sviluppo dell'analisi FMECA che ora si andrà a presentare dal punto di vista teorico è ciò che si vorrebbe realizzare passo dopo passo anche all'interno di Orion.

3.3.1 Analisi di criticità

Come si era presentato nella Figura 2.6, l'analisi FMECA utilizza una tabella nella quale vengono riportare informazioni e dati. La tabella, a sua volta, è divisa in tre parti, una per ciascun tipo di analisi appena citata, nelle quali vengono riportate voci specifiche che possano restituire come risultato le misure di aggiustamento più corrette che si devono adottare in risposta a ciascuna analisi fatta.

Si voglia dunque iniziare con l'analisi di criticità, il cui modulo si evidenzia nella Tabella 3.2. Obiettivo e risultato di questa prima analisi è quella di creare una scala di valori attraverso la combinazione di pesi derivanti da diversi tipi di rilevamenti. Qui di seguito verrà spiegato, passo dopo passo, come ottenere l'indice di criticità per ogni modo di guasto che è stato possibile evidenziare.

La tabella finale dell'analisi di criticità, sempre per come viene proposta da Vito D'incognito, verrà completata con una voce per ciascuna colonna di quelle proposte nella tabella che segue.

Tabella 3.2: Modulo per l'analisi di criticità

Analisi criticità							
Tipo di guasto (livello componente)	Numero-sità del componente	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisp. ore/anno	Indice di criticità
1	1A	2	3	4	5	6	7

3.3.1.1 Descrizione del guasto

Prendendo a riferimento la prima colonna della tabella appena proposta, il primo passo da effettuare per eseguire l'analisi di criticità consiste nel riportare il tipo di guasto avvenuto al livello di sottoassieme o componente.

Il modo di guasto si ricorda che deve essere espresso in modo semplice e non deve essere confuso con la conseguenza che esso comporta a livello della macchina. Si definiscono:

- La parte fisica interessata;
- Un attributo che definisca cosa è avvenuto.

In questo modo il guasto risulta chiaro e non lascia spazio a equivoci.

La precisazione di ciò che è avvenuto al componente è fondamentale. Infatti, per il medesimo elemento si possono avere più modi di guasto che è indispensabile distinguere. Diversi modi di guasto possono corrispondere a diverse cause originarie e dunque a differenti modalità di intervento. Proprio per questo non è sufficiente fermarsi a scrivere solamente cosa si è danneggiato ma anche perché si è danneggiato.

3.3.1.2 Numerosità del componente

Nella colonna identificata come la 1A si riporta il numero di componenti uguali che sono presenti a livello di sottoassieme. Questo perché se da una parte il tasso di guasto si riferisce ad un solo componente, dall'altra l'affidabilità della macchina è combinazione dell'indisponibilità dei singoli componenti.

3.3.1.3 Frequenza prevista del guasto

Con riferimento al modo di guasto descritto nella prima colonna, si inserisce nella colonna con il numero 2 la frequenza prevista per tale modo di guasto. Con frequenza prevista si vuol indicare il numero di occasioni in cui il guasto si manifesterà in un arco temporale pari ad un anno.

Ovviamente, risulta chiaro non poter conoscere il dato preciso, poiché il livello di indeterminazione dei guasti è elevato e difficilmente prevedibile. Tuttavia, confrontandosi con i manutentori, grazie alla loro esperienza, sarà possibile dare una stima di questo valore. Ciò che risulta importante in queste analisi è cercare di fornire dati quanto più obiettivi possibili, in modo che pure i risultati finali siano attendibili.

In questa colonna oltre a numeri interi possono essere riportati anche numeri decimali come, ad esempio, 0.5. Questo significherà che il modo di guasto associato a tale valore si verifica mediamente una volta ogni due anni.

3.3.1.4 Effetto sull'impianto

Nella colonna contraddistinta dal numero 3 si riporta quale sia l'effetto che il modo di guasto provoca a livello generale dell'impianto. Si distinguono diverse categorie di gravità,

le quali vengono contraddistinte attraverso un peso. Questi pesi, come vedremo a breve, vengono definiti all'interno della "Tabella delle criticità".

Le categorie che si definiscono per la criticità solitamente sono quattro:

- Molto critico, corrisponde al fermo macchina con blocco totale della produzione. Rappresenta il caso peggiore, quello a cui non si vorrebbe mai andare incontro ma che sorge qualora non si svolga nessuna attività preventiva che possa cercare di evitarne il manifestarsi;
- Critico, corrisponde ad un rallentamento o riduzione della capacità produttiva. Permette di seguire con la produzione a condizione che si cambi qualche parametro del processo produttivo. Vengono ad esempio modificate la velocità di lavorazione dei macchinari, il tempo dedicato ad una particolare lavorazione, pressioni e temperature di lavoro. Qualora la lavorazione sia all'interno di una catena produttiva, la riduzione della capacità comporta rallentamenti anche negli altri settori;
- Poco critico, corrisponde ad un mantenimento della capacità produttiva però con un aumento degli scarti prodotti. Questo tipo di guasto non provoca effetti concreti sulla catena di produzione se non quello di aumentare il numero dei difetti riscontrati. Questo problema è solitamente associato ad una lavorazione che non viene più svolta secondo i parametri. Nella maggior parte dei casi la causa è dovuta all'usura degli utensili dei macchinari o ad una errata immissione di qualche parametro. Nel caso particolare in cui la difettosità dei pezzi sia vicina al 100% il livello di criticità è paragonabile al blocco della produzione (resa obbligatoria per comprendere le cause del difetto sistematico);
- Marginalmente critico, corrisponde all'esclusione della macchina e ad un uso di manodopera o altri macchinari per il completamento delle operazioni. In questo caso la macchina può essere bypassata senza alcun problema. Logicamente però è richiesto un intervento.

I pesi associati a tali categorie vengono riportati nella tabella seguente.

Tabella 3.3: Tabella delle criticità

Livello di criticità	Descrizione	Punteggio
Molto critico	Blocco totale del flusso produttivo	10
Critico	Rallentamento della capacità produttiva	7
Poco critico	Aumento della difettosità con piena capacità produttiva	3
Marginalmente critico	Completamento delle operazioni bypassando il macchinario	1

Naturalmente è corretto specificare che le diverse categorie di criticità non sono chiuse, né tantomeno fisse. Con questo si vuole dire che un medesimo livello di criticità può avere diverse descrizioni a seconda della particolare attività che l'azienda svolge. Inoltre, può accadere che si renda necessario l'utilizzo di più categorie. La tabella dunque è modificabile e qui se ne è voluta solamente dare una opzione. Risulta infatti facile intuire che la tabella è tanto più efficace quanto più si avvicina concretamente alla realtà aziendale.

3.3.1.5 Effetto sul prodotto

Nella seguente colonna si riporta l'effetto che il modo di guasto può provocare sul prodotto.

Tra i diversi casi si possono trovare:

- Lavorazioni parziali e/o incomplete;
- Prodotto da scartare per presenza di difetto;
- Contaminazione del prodotto.

La presenza di un effetto sul prodotto comporta inevitabilmente perdite economiche, siano esse dovute alla necessità di una seconda lavorazione o direttamente allo scarto del pezzo. Si sottolinea tuttavia che non sempre un modo di guasto porta ad un effetto sul prodotto. Ci possono essere guasti che rallentano le operazioni di lavoro senza però peggiorare la qualità della lavorazione. Ecco quindi che si producono probabilmente minori quantità ma tutte di buona qualità e senza difetti.

3.3.1.6 Durata della fermata

Nella colonna 5 viene inserito il tempo complessivo di durata della fermata, in inglese MDT, *Mean Down Time*, ossia il tempo totale di indisponibilità della macchina. Si ricorda che questo tempo è diverso dal tempo della manutenzione, che, come già riportato, ne costituisce solo una frazione.

Come riportato nel primo capitolo, il tempo di fermata si suddivide in:

- TGR, tempo di ritardo gestionale;
- TD, tempo di diagnosi;
- TRL, tempo di ritardo logistico;
- TAR, tempo attivo di riparazione;
- TRS, tempo di ripristino del servizio;
- TTRg, tempo totale di riparazione a guasto, o anche DTg, Down Time a guasto;
- TTRp, tempo totale di riparazione preventiva, o anche DTp, Down Time preventivo.

Se il riavviamento è positivo il tempo di durata della fermata si risolve in una sola iterazione di queste fasi. Se invece, al contrario, l'esito dato è negativo, il tempo di indisponibilità si amplia poiché può capitare che si debbano fare altre diagnosi, procedere nuovamente allo smontaggio e così via fino ad un nuovo riavviamento.

3.3.1.7 Indisponibilità ore/anno

Il dato riportato in questa colonna è il primo derivante dalla combinazione di due dati già precedentemente inseriti. Infatti, il monte ore di indisponibilità annuali deriva direttamente dal prodotto della frequenza prevista di guasto, in un tempo campione di un anno (dato inserito nella colonna 2), e della durata media della fermata (dato appena inserito nella colonna 5). Attraverso questo rapido calcolo è dunque possibile ottenere l'indisponibilità ore/anno.

È possibile creare una tabella con diverse classi di indisponibilità alle quali corrisponde un peso basato sulle ore in cui il macchinario è costretto a stare fermo.

I pesi attribuiti si possono vedere di seguito nella Tabella 3.4.

Tabella 3.4: Pesi delle indisponibilità

Peso	Ore indisponibilità/anno
10	>50
8	20 ÷ 50
5	5 ÷ 20
3	2 ÷ 5
1	<2

Come sempre la tabella non è fissa e i pesi possono essere distribuiti diversamente a seconda dei diversi casi in cui ci si trova ad operare.

3.3.1.8 Indice di criticità

Insieme ai livelli di criticità, le ore di indisponibilità sono la seconda variabile con la quale è possibile creare la matrice di criticità (Tabella 3.5) dalla quale si ricava l'indice di criticità. Questo indice deve essere inserito nell'ultima colonna, la settima.

Tabella 3.5: Matrice delle criticità

Criticità del processo produttivo	Criticità guasto: H/anno di indisponibilità						
	Categorie		>50	20 - 50	5 -20	2 - 5	<2
	PESO	10	8	5	3	1	
Molto critica	10	100	80	50	30	10	
Critica	7	70	56	35	21	7	
Poco critica	3	30	24	15	9	3	
Marginalmente critica	1	10	8	5	3	1	

Attraverso questa matrice è possibile valutare l'effetto combinato delle due variabili messe in gioco. La combinazione dei pesi crea dei valori di criticità che vengono riferiti al singolo modo di guasto preso in considerazione e ne determinano il suo indice di criticità.

È quindi ovvio pensare che per ridurre la criticità di un determinato modo di guasto si possa intervenire secondo due modalità:

- Riducendo il numero di eventi di guasto all'anno, soprattutto per i modi di guasto con criticità maggiori, attraverso migliorie tecniche e l'aumento degli interventi di manutenzione preventiva;
- Modificando o organizzando diversamente la logistica dell'intervento, con lo scopo di ridurre il tempo medio di una data fermata.

Le due modalità di intervento non sono in antitesi, anzi possono essere vicendevolmente rafforzate.

L'indice di criticità di un guasto, oltre a quanto appena riportato, è influenzato anche da:

- La sicurezza per gli operatori. Se il guasto compromette la sicurezza dei lavoratori è obbligatorio apporvi un fattore correttivo che aumenti il fattore di criticità;
- Il fattore di utilizzo delle macchine. Ciò sta a significare che quanto più si utilizza un determinato macchinario, tanto più si dovrebbe attribuire a tale macchinario un indice di criticità maggiore. Questa considerazione risulta abbastanza intuitiva poiché si comprende facilmente che, se un macchinario non è utilizzato, in caso di guasto il suo recupero compromette in modo esiguo la produzione. In termini pratici si ha maggior tempo per riparare una macchina che lavora solo un turno al giorno rispetto ad una seconda che ne lavora tre. Anche se il guasto fosse lo stesso, la criticità della seconda macchina deve essere maggiore poiché compromette il normale periodo di lavoro del macchinario.
- Ispezionabilità. In questo caso è intesa come possibilità di intervenire su un macchinario in modo agibile al fine di prevedere e contrastare una delle due variabili che intercorrono nel creare la matrice di criticità. L'ispezionabilità sostanzialmente si riferisce a interventi di monitoraggio atti a cercare di ridurre la frequenza dei guasti o la criticità in conseguenza di questi.

Una volta giunti a questo punto si ottiene per ogni modo di guasto rilevato il suo valore di criticità. I valori più alti delle criticità restituiscono quei modi di guasto che a cui è fondamentale cercare di trovare una soluzione. Si può perciò procedere con l'analisi decidendo di ricercare metodi di manutenzione preventiva o correttiva da poter implementare nel sistema.

Si procede nella trattazione con la presentazione di queste sezioni.

3.3.2 Analisi delle cause

A differenza dell'analisi di criticità, la sezione in cui si esegue l'analisi delle cause, il cui scopo è quello di evidenziare sintomi premonitori che possano rendere possibile l'introduzione di interventi di manutenzione preventiva, è composta da solamente tre sezioni, le quali si mostrano in Tabella 3.6.

Tabella 3.6: Modulo per l'analisi delle cause

Analisi delle cause (a scopo di realizzare manutenzione preventiva)		
Causa di guasto componente	Causa di guasto sottoassieme	Sintomi premonitori
8	9	10

Come si evince dalla tabella, in questa analisi si procede più in profondità con lo studio della causa del modo di guasto allo scopo di ricercare, eventualmente, la traccia di un segnale premonitore del guasto medesimo.

Analizzando più in dettaglio la tabella si vede come nella colonna 8 si inserisce la causa di guasto a livello del componente. Le cause riportabili possono essere:

- Vibrazioni
- Surriscaldamento
- Sporco
- Usura
- Fatica

Naturalmente, a seconda della causa, si cerca di adottare la misura adatta alla prevenzione del guasto.

Nella colonna 9 invece si analizza come la causa di guasto influisce a livello del sottoassieme, ossia come il sottoassieme può essere influenzato da un guasto che si è verificato a livello più basso. Nel caso ci fosse la propagazione si valutano:

- Conseguenze del guasto a livello componente;
- Conseguenze del guasto a livello sottoassieme;
- Tempi di fermata nei rispettivi casi;
- Tempi di intervento manutentivo nei due casi;
- Costi del componente e del sottoassieme;
- Costi indotti.

Attraverso l'analisi dei costi infatti è possibile, qualora vi sia l'opportunità, decidere se risulta più conveniente intervenire a livello di componente o di sottoassieme.

Una volta riscontrata la causa del guasto sarebbe opportuno verificare se, prima che avvenisse il guasto medesimo, fosse accaduto qualcosa che si scostava dal funzionamento classico del macchinario. Questo segnale sarebbe identificato come segnale premonitore e permetterebbe, qualora fosse rilevato altre volte, di poter intervenire sulla macchina prima che questa vada in contro alla rottura.

Non sempre è facile o possibile trovare il segnale debole attraverso cui la macchina comunica l'imminenza del danno. Tuttavia, qualora il segnale fosse scoperto, questo deve essere inserito nell'ultima colonna dell'analisi delle cause. In questo modo, una volta colto il segnale premonitore, verrà attuato un adeguato intervento di manutenzione preventiva (in questo caso basata su condizion) che permetterà di evitare il verificarsi del guasto.

3.3.3 Analisi manutenzione correttiva

L'ultima parte dell'analisi FMECA si concentra sull'analisi della manutenzione di tipo correttivo, ossia la manutenzione che interviene in risposta al guasto. Questa analisi si prefigge come scopo di individuare aspetti logistici e organizzativi che possono essere migliorati nell'atto di manutenzione.

Le sezioni che vanno a formare il modulo dell'analisi di manutenzione correttiva sono presentate nella Tabella 3.7.

Tabella 3.7: Modulo per l'analisi della manutenzione correttiva

Analisi manutenzione correttiva (a guasto avvenuto)				
Parte sostituibile	Codice identificazione parte sostituibile	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
11	12	13	14	15

Analizzando dunque questo modulo si può notare come nella prima colonna sia richiesto di porre la descrizione del componente che è andato in contro al guasto e che dunque deve essere sostituito (appunto il modulo è a guasto avvenuto). La parte che si va a sostituire può essere il componente che si è effettivamente danneggiato o in modo più generale il sottoinsieme che lo comprende. Ciò risulta chiaro se si è definita in modo opportuno la Lru (*Line replaceable unit*). L'esempio che si ricorda è quello della scheda elettronica per cui è più semplice e conveniente cambiare direttamente la scheda nella sua totalità senza investigare quale delle sue parti si è effettivamente danneggiata.

Nella seconda colonna del modulo si inserisce quello che, a livello aziendale, è stato indicato come il codice di identificazione del pezzo che deve essere sostituito. In questo modo è possibile sempre riferirsi al medesimo componente senza cadere in errore con l'uso di termini poco specifici. Sarebbe opportuno che, il codice del componente, fosse riportato a bordo dei macchinari che si guastano in modo più frequente, così da permettere, prima di iniziare l'intervento manutentivo, un rapido controllo e confronto con il pezzo che si è pronti a sostituire.

Nella colonna 13 si inserisce la durata dell'intervento di manutenzione. Risulta conveniente inoltre riportare, oltre alle ore di lavoro, anche il numero delle risorse e delle specializzazioni necessarie per l'intervento. Infatti, non è raro che, nella stessa attività di manutenzione, intervengano manutentori con specializzazioni differenti, come ad esempio meccaniche o elettroniche. In questo modo il dato che si raccoglie sarà utile per poter valutare tutte le misure necessarie nel caso si ripresenti il medesimo evento di guasto e si debba dunque rispondere con la medesima attività di manutenzione.

La differenza tra il dato inserito in questa colonna e quello inserito nella colonna 5 è che quest'ultimo fa riferimento al tempo della fermata nella sua totalità mentre quello appena inserito si focalizza sulla sola attività di manutenzione, appunto il periodo dell'intervento. La differenza dei due tempi evidenzia quanto del tempo della fermata sia speso nel cercare ed organizzare le risorse necessarie all'intervento. Tanto più la differenza è grande, tanto maggiore è il tempo dedicato all'organizzazione dell'intervento.

Nella colonna 14 invece è bene evidenziare quelle attrezzature che, pur non entrando in modo diretto nell'intervento di manutenzione, sono necessarie per riuscire ad eseguirlo in maniera ottimale. Con ciò si vuol dire che in questa colonna non si inseriscono con dettaglio tutti gli utensili che si vanno ad usare, come cacciaviti, martelli o pinze, ma quegli elementi, come organi di sollevamento, chiavi a testa speciale o altri utensili, senza il quale non è possibile svolgere l'attività di manutenzione. Insomma, vanno inseriti quegli attrezzi che non è consuetudine utilizzare e senza i quali l'intervento non può essere concluso. In questo modo, avendo accuratamente compilato questa sezione, sarà possibile risparmiare tempo in futuro.

Nell'ultima colonna di questo modulo viene riportato il segnale che la macchina ha mandato a guasto avvenuto, ossia ciò che ha reso possibile capire che la macchina si fosse danneggiata. Questo segnale non deve essere confuso con il segnale debole, dal momento che, nella quasi totalità dei casi, sono due segnali completamente disgiunti tra loro. La convenienza dovuta all'aver rilevato tale segnale riguarderebbe l'accorciamento dei tempi di diagnosi in caso di guasti futuri.

Quest'ultimo punto è fortemente condizionato dalle capacità personali degli operatori, poiché devono esser loro a riconoscere le variazioni di comportamento nella macchina. È anche vero che nella maggior parte dei casi il riconoscimento dei segnali è complesso

Capitolo 4

Avviamento della gestione della manutenzione

A differenza dei capitoli precedenti, nei quali le nozioni fornite erano di carattere prevalentemente teorico e finalizzate a rendere esplicite nozioni e terminologie utilizzate in campo manutentivo, in quest'ultimo capitolo si vuole descrivere ciò che è stato effettivamente realizzato all'interno dell'azienda Orion Spa, quali siano i passi successivi che si hanno intenzione di mettere in atto nel prossimo futuro per dar continuità al lavoro svolto e quali siano gli obiettivi che concretamente si desiderano raggiungere attraverso questo progetto.

4.1 Studio delle macchine e analisi delle problematiche iniziali

Per poter creare un progetto di manutenzione che porti a correggere le problematiche maggiormente gravose di un sistema di produzione e che successivamente possa garantire l'efficienza e la produttività della catena, ossia perlappunto gli obiettivi che il progetto stesso tende a concretizzare, è inevitabile dover partire dallo studio di ciò che è alla base della produzione medesima: i macchinari.

La conoscenza delle macchine di produzione è fondamentale per poter determinare dove, quando e secondo quali modalità intervenire. Più sono ricche e complete le informazioni possedute e migliori saranno gli interventi che si andranno a effettuare.

Con tale scopo quindi si è cominciato ad analizzare tutti i diversi macchinari facenti parte delle isole di lavoro. Inizialmente lo scopo era quello di identificare quali fossero i pezzi più critici e sui quali si interveniva con maggiore frequenza, così da poter individuare contemporaneamente quali fossero i modi di guasto che si presentavano maggiormente. Quasi subito però si è notato come fosse indispensabile creare una vera e propria scomposizione delle macchine, che permettesse di ottenere una struttura ad albero in cui ogni componente o ricambio fosse facilmente collegabile alla sua macchina operatrice. Tale scomposizione è stata dunque una delle prime operazioni necessarie per poter avviare il progetto. Ci si è avvalsi dei diversi manuali tecnici ma soprattutto dell'esperienza dei manutentori. Questo aiuto è risultato fondamentale poiché, fin da subito, si è dovuto far fronte al problema per cui in azienda non vi fosse un metodo, ed inoltre non vi fosse l'abitudine, di annotare i diversi interventi di manutenzione che venivano eseguiti, e di conseguenza i differenti pezzi di ricambio che venivano acquistati. Questi dati avrebbero

infatti contribuito a delineare con maggior precisione quali fossero gli effettivi componenti che andavano in contro al guasto.

Diretta conseguenza di tale problema è la mancanza di un registro storico della manutenzione. Il metodo molto semplicistico che deriva da questa situazione di partenza è dunque quello della risposta al guasto, ossia la manutenzione si identifica in tutto e per tutto come una manutenzione di tipo correttivo. Tale politica di intervento era del tutto legittima: salvo pochi interventi che vengono effettuati con scadenza ogni due o tre settimane, tutti gli altri sono eseguiti qualora un componente di una delle varie macchine si rompa.

Questo modello effettivamente poteva funzionare e ha funzionato per ben 40 anni all'interno della azienda Orion. Tuttavia, si è arrivati, per una serie di concause, in un periodo storico della ditta in cui si è resa evidente l'esigenza di cambiare strategia manutentiva.

Questa necessità è sorta anche valutando tutta una serie di svantaggi che la vecchia politica manutentiva comportava. Dalla loro analisi è emerso che:

- L'intero controllo dell'azione correttiva è nelle mani di pochi, i manutentori, o addirittura di una singola persona, il capo manutentore. In questo modo gli interventi vengono gestiti "dall'interno" della produzione senza la possibilità di essere elaborati o pianificati "dall'esterno", attraverso magari un'ottica più ampia di gestione della manutenzione aziendale. Risulta corretto far presente che tale politica manutentiva era accettata all'interno dell'azienda e in un certo modo anche promossa, affinché il "settore manutenzione" si potesse autogestire. Con il crescere però delle problematiche legate ai guasti si è reputato opportuno cercare di accentrare maggiormente il controllo delle attività manutentive.
- Il rapporto di Orion Spa con i fornitori dei pezzi di ricambio è personale e in parte basato sulla fiducia. Detto in altro modo l'acquisto dei pezzi di ricambio solitamente è gestita dal capo manutentore che contatta direttamente la ditta a lui "familiare", senza un confronto, o con un confronto molto limitato, delle disponibilità presenti sul mercato. Spesso il pezzo è concordato telefonicamente e, dopo il pagamento, arriva in azienda. Ciò fa sì che l'autorità dell'ufficio tecnico perda un po' di valore, poiché non riesce a tenere sotto controllo le forniture, e che si perda inoltre la possibilità di una tracciabilità dei pezzi di ricambio. Se i componenti arrivano direttamente a magazzino ma, per esempio, non vengono conservati i documenti dove sono riportati i codici del fornitore, una volta che si verificherà nuovamente il medesimo guasto l'azione del capo manutentore sarà necessaria poiché l'ufficio tecnico non avrà a disposizione gli strumenti per poter comunicare con l'azienda fornitrice e richiedere il pezzo sostitutivo richiesto per correggere il guasto.
- La conoscenza profonda delle macchine è racchiusa nella sola figura del capo manutentore. Questo è uno svantaggio rilevante. Il fatto che solo il capo

manutentore, per una serie di motivazioni tra le quali quella appena citata, possedga una conoscenza profonda di tutte le macchine porta all'immediata conseguenza che, una volta che costui andrà in pensione, molti problemi che sorgeranno richiederanno molto più tempo per essere risolti se si avranno le forze interne per risolverli, oppure verranno affidati a manutentori esterni qualora non si sappia come operare. In entrambi i casi le azioni manutentive meno routinarie e più saltuarie, per le quali quindi non si possederanno grandi conoscenze, avranno un maggior costo da sostenere, costo dovuto all'inesperienza.

- La politica manutentiva attuale fatica a convivere con l'aumento dei guasti che si verificano nelle macchine. Questo problema è dovuto probabilmente al fatto che, anche se le macchine non sono così datate, avere una produzione che si distribuisce su tre turni giornalieri che si estendono dal lunedì al venerdì può contribuire ad un più rapido deterioramento dei macchinari stessi, i quali vengono sottoposti a sollecitazioni continue per periodi estesi. Gli interventi di manutenzione dunque aumentano, ma essendo interventi corretti al guasto, qualora sorgessero contemporaneamente, risulta difficile risolverli tutti in modo efficace e immediato.
- La mancanza di un registro storico e un catalogo degli interventi manutentivi e dei pezzi di ricambio. In realtà questo svantaggio deriva come conseguenza dei precedenti: non essendoci un ferreo controllo sugli interventi di manutenzione, non è possibile comprendere quali siano i pezzi che effettivamente si hanno a magazzino o che devono essere comprati. Avendo, inoltre, questa sovrapposizione di ruoli tra manutentori e ufficio tecnico è facile che si creino situazioni in cui i codici dei pezzi siano confusi tra loro o non sia possibile associare un determinato codice al pezzo di riferimento. Risultato: si elabora l'ordine ed una volta ottenuto il pezzo si aggiusta il macchinario, eliminando l'ordine senza raccoglierlo in un archivio.
- Un ultimo svantaggio, sempre conseguenza dei precedenti, è la totale impossibilità di definire un budget o quali siano i costi della manutenzione all'interno dell'azienda. Non possedendo storici e non avendo tracciabilità delle spese effettuate per questo reparto risulta difficile stimare quali siano i costi legati alla manutenzione e dunque capire quante risorse monetarie necessita. Questo svantaggio non è banale. Capire quanto si spende in manutenzione potrebbe essere anche un segnale di quale andamento sta seguendo l'azienda. Inoltre, prevedere già un budget standard da concentrare in questo settore può favorire la gestione delle risorse che l'azienda ha a disposizione.

L'analisi e il sommarsi di tutti questi svantaggi ha portato quindi l'azienda verso l'avviamento del progetto di manutenzione tutt'ora in corso.

4.2 Basi del progetto e creazione degli obiettivi

Allo scopo di un maggior controllo e di una migliore gestione, i dirigenti di Orion hanno creduto fosse necessario inizialmente limitare il progetto manutenzione alla sola area di iniezione dello stabilimento italiano. Questa scelta è stata presa con l'obiettivo di trovare prima di tutto soluzioni alle problematiche di quello che risulta essere il settore più delicato all'interno della catena produttiva, nel quale vi sono maggiori variabili che entrano in gioco sotto forma di guasti o ritardi e nel quale è concentrata quasi la totalità delle attività di manutenzione svolte dagli operatori interni all'azienda.

Il progetto coinvolge diverse forze all'interno del contesto aziendale:

- Un responsabile interno all'azienda che abbia la funzione di coordinare e supervisionare l'intero progetto in ogni suo aspetto;
- I manutentori, a cui si affida il compito di intervenire sulle macchine ma anche quello di far presente l'insorgere di nuovi guasti. Inoltre, grazie a loro si prevede di riuscire fin da subito a creare uno storico degli interventi;
- L'ufficio tecnico, il cui compito è quello di divenire fin da subito l'unica finestra di contatto tra azienda e fornitori, in modo tale da centralizzare il controllo delle spese della manutenzione;
- Una figura esterna di consulenza, il cui compito è quello di orientare il progetto affinché si possano raggiungere nel minor tempo possibile gli scopi del progetto che successivamente verranno esposti;
- Una figura di un controllore interno che si assuma l'onere di coordinare le azioni suggerite e di verificarne l'applicazione all'interno del processo produttivo interno. A costui si affida anche la responsabilità di avviare il sistema informatico di aiuto alla gestione della manutenzione di cui successivamente si parlerà ampiamente.

Si è voluto quindi mettere al corrente i diversi interessati dell'avviamento del progetto attraverso una riunione che ha evidenziato fin da subito gli obiettivi che si vorrebbero raggiungere. Tra questi vi sono:

- Dove possibile, il cambiamento da una politica di tipo correttivo ad una politica basata su condizione o predittiva;
- Una miglior gestione dei magazzini, che si traduce con una gestione più mirata e efficace dei componenti tenuti in scorta;
- La possibilità di stilare un monte spese dei costi del reparto manutenzione e di conseguenza ottimizzare tali costi;
- Garantire il rispetto dei programmi di produzione;
- Aumentare la disponibilità produttiva delle attrezzature e dei macchinari;
- Avere la possibilità di definire un budget annuo per la manutenzione basandosi sui dati storici dei costi.

Naturalmente per poter mettere in atto questi punti è spesso necessario procedere con delle misure correttive iniziali che, anche se non portano direttamente alla finalizzazione dello scopo, ne contribuiscono a renderne più facile il raggiungimento in seguito.

Volendo, per esempio, concentrarsi sulla gestione più attenta e controllata dei componenti di ricambio si deve pensare che non è possibile, dall'oggi al domani, cambiare la politica di acquisto dei componenti: sono necessarie più fasi prima di poter arrivare a tal punto. Si deve innanzitutto eseguire, come già detto, la scomposizione, sempre dal punto di vista manutentivo, delle macchine. La scomposizione permette di evidenziare tutti, o comunque la grande maggioranza, dei ricambi necessari. Sapendo quali sono i ricambi di cui si ha bisogno si rende indispensabile venire a conoscenza dei componenti che si hanno a magazzino e, dunque, inventarli. Una volta capito ciò che si possiede è necessario definire quale sia la politica a cui, d'ora in avanti, ogni tipo ricambio sarà soggetto. Infatti, come già si è detto, un componente potrebbe essere tenuto direttamente a scorta, o invece comprato solo qualora se ne verificasse l'esigenza, tutelandosi magari con il fornitore rispetto ai tempi di consegna in periodi brevi. Solo una volta realizzate tutte queste operazioni si può pensare ad una gestione ottimizzata dei pezzi. In realtà si tratterebbe di un'ottimizzazione teorica ancora, poiché, a livello pratico, una gestione proficua sicuramente si otterrebbe solo con l'introduzione di un sistema informatico che possa garantire, ad esempio, un segnale di avviso quando i pezzi vanno sotto il livello della scorta di sicurezza, o che, al contrario, carichi i componenti a magazzino quando vengono registrati i documenti di trasporto.

Per ciascuno degli obiettivi si è reso dunque necessaria una serie di azioni preventive.

4.2.1 Operazioni iniziali

Tra le diverse azioni che si sono dovute implementare, due sono risultate fondamentali come punti di partenza per lo sviluppo di pressoché tutti gli obiettivi. Queste sono:

- 1- La scomposizione dei macchinari. Questa è stata la prima azione che si è sviluppata. Ha richiesto all'incirca una settimana, tempo necessario per la lettura dei manuali tecnici e per l'approfondimento della scomposizione dettata dall'esperienza dei manutentori. Successivamente si è pensato ad un sistema di codifica che è stato più volte cambiato e riaggiustato secondo le necessità. Il risultato, si ricorda, è reso disponibile nell'Appendice A: Scomposizione e codifica dei macchinari.
- 2- Creazione di uno storico dei guasti. Si è ritenuto fondamentale fin dal primo momento poter creare un archivio in cui venissero riportati i diversi interventi di manutenzione e dunque i differenti modi di guasto. Questa azione ha avuto lo scopo di poter raccogliere un numero abbastanza ampio di eventi di guasto ed andarne successivamente a studiare le cause. Inoltre, attraverso questo controllo è stato possibile anche prendere nota di quali pezzi di ricambio venissero utilizzati.

Entrambe le azioni sono state frutto di frequenti e continue ispezioni della catena produttiva e delle macchine. Tali controlli hanno per l'appunto velocizzato la raccolta dei dati per la scomposizione ed hanno permesso di evidenziare alcuni guasti che erano sfuggiti alla memoria dei manutentori.

Per poter ottenere un registro storico degli interventi è stato creato un semplice documento, mostrato in Figura 4.1, nel quale i manutentori, in pochi minuti, possano descrivere brevemente l'azione manutentiva svolta.

MODULO INTERVENTI DI MANUTENZIONE

DATA:

OPERATORE/I:

MACCHINA MANTENUTA:

BREVE DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO:

.....

.....

.....

RICAMBI UTILIZZATI:

TEMPO IMPIEGATO:

Figura 4.6: Modulo per gli interventi di manutenzione adottato in Orion Spa

Questo documento, molto semplice, permette di:

- Riportare la data di intervento, così da monitorare quando l'intervento è avvenuto ma anche quanto è il tempo che intercorre tra due guasti identici che si verificano nella stessa macchina;
- Operatore, permette di capire chi ha fatto l'intervento e, nel caso il problema non fosse risolto, capire quali siano stati gli errori nell'intervento e dunque correggere l'azione manutentiva;
- Macchina mantenuta, ossia su quale macchina si interviene;
- Breve descrizione dell'intervento, permette di capire quali sono state le azioni di intervento effettuate;
- Ricambi utilizzati, nel quale vengono riportati i pezzi di ricambio che si sono usati e dunque risulta possibile ottenere i primi dati per la futura gestione del magazzino;
- Tempo impiegato, serve per comprendere quanto duri effettivamente il tempo dedicato all'intervento senza contare i tempi dovuti alla pianificazione dell'intervento, alla ricerca dei pezzi, al collaudo. Tale tempo in un futuro, ove possibile, si cercherà di migliorarlo, rendendo dunque l'intervento più rapido ed efficace.

Grazie all'utilizzo di questo semplice documento è stato possibile raccogliere una numerosa serie di dati.

4.3 Avviamento del sistema informatizzato per la gestione della manutenzione

Ai fini di una più completa e migliore gestione della manutenzione, la dirigenza di Orion Spa ha ritenuto adeguato procedere all'avviamento di un sistema informatizzato che permetta di avere un controllo diretto su tutte le azioni che vengono eseguite in chiave manutentiva. Si è ritenuto opportuno dunque l'acquisto di un software come valido supporto a tale gestione, concentrata inizialmente sul reparto iniezione ma che successivamente verrà allargata a tutto l'impianto produttivo.

Dopo aver valutato diverse opzioni, la scelta del software è ricaduta sul programma Prometeo Manutenzione, fornito da INFORMATICA EDP srl.

L'azienda medesima definisce il software come dedicato alla programmazione ed alla gestione della manutenzione e sicurezza degli impianti aziendali, come aiuto alla gestione della manutenzione preventiva e a guasto, ottimale per la programmazione della manutenzione di macchine, impianti e infrastrutture ed interfacciabile con MES, ERP, magazzini, macchine ed impianti.

Le possibilità del software sono varie e molto ampie. Per questo si è ritenuto potesse essere un valido strumento di cui fornirsi per raggiungere gli obiettivi posti.

4.3.1 Utilizzo iniziale del software

Una volta ottenuto il programma, dopo aver esplorato le prime funzioni basilari, si è iniziato a inserire i primi dati della scomposizione macchine seguendo fedelmente lo schema ad albero riportato nell'Appendice A. la modalità di inserimento ha richiesto diversi giorni poiché sono stati inseriti i dati di tutte le isole di iniezione.

The screenshot shows the 'Nuovo: Macchine' form in the Prometeo software. The form is divided into several sections. At the top, there are navigation tabs: 'Nuovo PM', 'Piani di manutenzione', 'Macchine figlie', 'Dati Giorn.', 'Attrezzature Correlate', 'Stampa scheda macchina', and 'Salva'. Below these are input fields for 'Codice *', 'Descrizione', and 'Descrizione Agg.'. To the right of the 'Descrizione Agg.' field is a 'Stato Macchina * [A]' dropdown menu with 'Attivo' selected. Below the main form area are several tabs: 'Anagrafica', 'Dati tecnici', 'Dati contabili', 'Note', 'Altri Dati', 'Ricambi', and 'Scheda Tecnica'. The 'Anagrafica' tab is active, showing a grid of fields: 'Collocazione', 'Cod. Macchina Padre', 'Classe' (with radio buttons for AA, A, B, C), 'Tipologia [M]' (set to 'Macchina'), 'Tipo 2', 'Contatore', 'Latitudine', and 'Longitudine'.

Figura 4.7: Anagrafica macchina in Prometeo

Le anagrafiche da completare si distinguono in due modelli, quelle da completare per le macchine, ossia tutto ciò che non è considerato un ricambio, e quelle, appunto, dei ricambi. Volendo partire dall'inserimento di una macchina, l'anagrafica che Prometeo mostra è quella che viene riportata in Figura 4.2.

Tra le voci che Prometeo richiede, quelle che sono state effettivamente compilate sono:

- Codice, permette di inserire il codice attribuito alla macchina. Questo è l'unico campo obbligatorio perché l'anagrafica venga creata;
- Descrizione, permette di inserire il nome della macchina a cui è stato attribuito il codice di identificazione sopra riportato;
- Stato macchina, permette di definire in che stato si trova la macchina. Le diverse opzioni di stato possono essere: attivo, disponibile, fermo, in riparazione, installata, obsoleta, da riparare, in uso o riparata ferma;
- Collocazione, permette di indicare in che reparto o sezione del reparto si trova il macchinario;
- Codice macchina padre, permette di definire la struttura ad albero della scomposizione. Poiché qui viene richiesto il codice della macchina padre sarà necessario aver già previamente creato l'anagrafica di tale macchina;
- Tipologia, permette di definire la tipologia della macchina rispetto a tipologie precedentemente inserite. In questo caso, rispettando la divisione illustrata nei capitoli precedenti, si sono inserite le categorie macchina, assieme funzionale e sottoassieme. Non è stata inserita la tipologia ricambio perché questa possiede già un'anagrafica propria che si andrà ad analizzare a breve;
- Categoria, permette di definire a quale gruppo appartiene la macchina che si sta analizzando all'interno dell'anagrafica.

Queste voci sono una parte delle informazioni che possono essere inserite. Se si presta attenzione alla Figura 4.2 si noterà infatti che le voci fanno parte del menu "Anagrafica".

Gli altri menu che possono essere compilati sono:

- Dati tecnici
- Dati contabili
- Note
- Altri dati
- Ricambi
- Scheda tecnica

L'unico menu aggiuntivo che è stato considerato è stato quello riferito ai ricambi. Tuttavia, per permettere l'inserimento di un pezzo di ricambio in una macchina è necessario averlo già creato precedentemente. Solo una volta creato sarà possibile associare i pezzi di ricambio alla macchina tramite tale anagrafica.

Una volta che sono state inserite tutte le macchine sarà possibile visualizzare, per ciascuna delle isole di iniezione, la struttura ad albero in cui si scompone la macchina medesima, come mostrato in Figura 4.3.

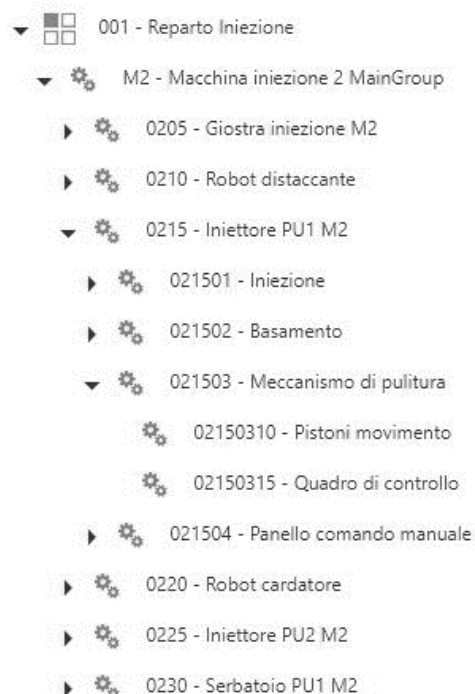


Figura 4.8: Albero delle macchine

Create dunque le macchine si passa alla creazione delle anagrafiche dei pezzi di ricambio. Ovviamente il modello di anagrafica per tali componenti, come si può vedere in figura 4.4, è diverso da quello delle macchine.

Nuovo: Ricambi Stampa Salva

Codice: Descrizione:

Stato [A]: Attivo

Categ. Merceologica: Categoria:

Tipo: Assieme

Dati generici | Acquisti | Note | Magazzini | Inventari | Macchine | Scheda Tecnica

Unità di misura: Magazzino Default [CEN]: Magazzino Centrale

Fornitore Tipico [0]: Voce Spesa:

Genere [1]: Materiale a giacenza Ultimo Costo:

Figura 4.9: Anagrafica ricambio in Prometeo

Le voci riempite nella compilazione dell'anagrafica del ricambio sono state:

- Codice, voce nella quale viene riportato il codice riferito al pezzo di ricambio;
- Descrizione, voce nella quale si riporta il nome del ricambio associato al codice precedentemente inserito;
- Stato, voce nella quale si riporta se il componente è attivo, ossia a magazzino, non aggiorna il magazzino, cioè viene direttamente da fornitore esterno, o se è a magazzino però in stato di obsolescenza;
- Categoria merceologica, voce nella quale si indica se il componente è di tipo meccanico, pneumatico, oleodinamico, elettrico, di distribuzione, lubrificante o elettronico;
- Categoria, voce nella quale si inserisce il reparto a cui fa riferimento il pezzo di ricambio;
- Unità di misura, voce nella quale si indica se il componente è conteggiato in pezzi, metri, litri o chilogrammi;
- Magazzino default, voce nella quale si indica in che magazzino è tenuto il componente;
- Fornitore tipico, voce nella quale si indica quale solitamente è il fornitore a cui si fa riferimento per l'acquisto. La voce è stata completata, al momento, solo per i pezzi di classe A (verrà spiegato a breve cosa significa).
- Genere, voce nella quale si differenzia se il materiale è a giacenza o se è materiale che deve essere ordinato e arriva direttamente da fornitore esterno;
- Ultimo costo, voce nella quale è possibile inserire l'ultimo costo del pezzo in modo da poter eventualmente verificare variazioni del prezzo dello stesso. Anche questa voce è stata completata, al momento, solo per i componenti di classe A.

Come per le macchine, anche nell'anagrafica dei pezzi di ricambio sono presenti più menu. In questo caso sono stati utilizzati i menu "Magazzini", nel quale si riporta il magazzino in cui è tenuto il componente di ricambio, e "Macchine", nel quale è possibile associare il ricambio direttamente alla macchina, ovviamente se già creata.

Come si deduce facilmente, l'associazione tra ricambio e macchina può essere fatta sia dall'anagrafica delle macchine sia da quella dei ricambi, senza che questo produca nessuna differenza sul risultato finale. Se infatti il ricambio venisse collegato alla macchina attraverso l'anagrafica di quest'ultima, automaticamente, anche entrando nell'anagrafica del ricambio si troverebbe l'associazione con la macchina inizialmente considerata.

Una volta completate le associazioni è possibile quindi, attraverso l'albero di macchina, avere la completa mappatura dei pezzi di ricambio e gestirne così gli interventi di manutenzione.

La creazione degli ordini di manutenzione (ODM) e dei piani di lavoro (PDL) verrà presentata successivamente.

4.3.2 Classe dei componenti di ricambio

Pensando a tutti i componenti di ricambio di cui un sistema produttivo può aver bisogno, è facile comprendere come non tutti i componenti abbiano la stessa importanza, in termini sia di prezzo che di utilizzo effettivo.

Per esempio, un motore non può essere paragonato ad un bullone, sebbene entrambi, a livello teorico, possano essere considerati pezzi di ricambio per una determinata macchina. Per questa ragione i componenti di ricambio vengono divisi nelle cosiddette classi ABC. Queste classi hanno lo scopo di distinguere i pezzi di ricambio in base alla loro importanza all'interno del sistema produttivo e, di conseguenza, anche in base al loro costo.

La categoria di pezzi rientranti nella classe A risulta essere quella dei pezzi più costosi e più critici per il processo produttivo. All'interno vengono compresi componenti come motori, pompe, turbine ed in generale tutti quei pezzi che risultano fondamentali per il funzionamento normale dei macchinari di produzione. Solitamente questi componenti hanno un prezzo mediamente elevato, che si aggira sulle migliaia di euro. Anche il prezzo è sinonimo di come i pezzi spesso risultino fondamentali per l'intera catena produttiva.

Questi componenti solitamente sono soggetti ad una politica dei ricambi tale per cui raramente il pezzo è tenuto a magazzino, anzi solitamente si trova un accordo con il fornitore, che quindi possiede il pezzo, per garantire la consegna in un determinato tempo senza impegnarsi a immobilizzare capitale in modo preventivo.

I componenti di classe A infatti non sono molto soggetti a guasto. Per questo non si è soliti tenerli a magazzino e, qualora dovessero danneggiarsi, comprarli risulta essere caro.

Prima di analizzare la classe B è bene spiegare cosa sia la classe C, poiché tutto ciò che non ricade in quest'ultima classe o in quella precedentemente analizzata ricade nella B.

Nella classe C ricadono tutti quei pezzi di ricambio o di materiale che solitamente viene messo a consuntivo e viene pagato a fine mese. In questa categoria entra la minuteria (viti, bulloni, rondelle, dadi), le punte dei trapani, le testine delle frese, i materiali di lubrificazione e così via. Tutti questi oggetti non sono pagati direttamente al fornitore. Ci si accorda per una loro consegna quando il pezzo comincia a scarseggiare e si paga il tutto a fine mese. I componenti della classe C sono quindi oggetti che spesso servono quotidianamente in azioni di riparazione e manutenzione ordinarie.

Nella classe B, come detto, ricadono tutti i ricambi che non fanno parte né della classe A né della classe C. Come si può ben immaginare, costituiscono la maggior parte dei pezzi di ricambio che una qualsiasi azienda possiede nel proprio magazzino. Possono essere componenti di tutti i tipi, materiale meccanico, elettrico, idraulico, oleodinamico o pneumatico. Solitamente ciascun pezzo, preso singolarmente, non possiede un costo troppo elevato. Tuttavia, l'insieme di tutti i pezzi porta ad una somma di capitale certamente non indifferente. Proprio per tal motivo sarebbe sempre adeguato possedere un inventario dei componenti tenuti a magazzino.

4.4 Analisi FMECA dell'isola di produzione e scelta delle politiche manutentive

Contemporaneamente e successivamente alla compilazione delle anagrafiche dei componenti all'interno del software Prometeo, si procedeva alla creazione e raccolta di dati per l'analisi FMECA di ciascun componente costituente l'isola di iniezione.

Come anticipato ed esposto nel precedente capitolo, per ciascun componente si sono analizzate quindici voci, corrispondenti alle quindici colonne dei tre moduli in cui la FMECA del processo produttivo era stata suddivisa. Si ricorda che le tre sezioni comprendono l'analisi di criticità, l'analisi delle cause e l'analisi della manutenzione correttiva (Figura 3.2).

Tutti i dati raccolti per ciascun pezzo di ricambio codificato nell'Appendice A sono stati dunque analizzati e studiati in chiave FMECA e trascritti quindi nella tabella mostrata nell'Appendice B: Analisi FMECA delle macchine.

Per la compilazione dei diversi moduli si è prestato fede alla spiegazione fatta nel terzo capitolo. Anche gli indici legati al livello di criticità e alle ore di indisponibilità fanno riferimento alle Tabelle 3.3 e 3.4. L'indice di criticità, di conseguenza, come riportato in Tabella 3.5, potrà assumere, per ciascun modo di guasto, un valore compreso tra 1 e 100.

Come era già stato detto, volendo agire su quei guasti che presentano indici di criticità elevati si può pensare di diminuire i valori ottenuti limitando la frequenza di guasti, operando attraverso degli interventi di manutenzione preventiva, o intervenendo sul tempo di fermata, cercando di ottimizzarlo.

Riguardo il primo dei due punti appena menzionati si deve dire che non sempre una politica di tipo preventivo risulta essere la miglior politica adottabile per un determinato modo di guasto. Il completamento e ottenimento di tutti i dati è stato possibile solo in un periodo relativamente recente e quindi le politiche manutentive da adottare sono ancora in fase di studio e collaudo.

Una modalità con cui è possibile comprendere quale sia la politica manutentiva più consona da adottare è quella dell'analisi del segno debole:

- Se il segnale debole esiste e lo si può monitorare allora la politica manutentiva che si suggerisce è di tipo su condizione o predittiva;
- Se non esiste un segnale debole oppure tale segnale non è monitorabile ci si chiede se il componente possiede una previsione di durata e se è ispezionabile. Qualora lo fosse si ritorna ad una manutenzione su condizione, qualora non lo fosse ad una manutenzione ciclica o preventiva, quindi programmata.
- Se non vi è previsione sulla vita del componente l'unica alternativa che rimane è quella di una manutenzione di tipo correttivo.

In quest'ottica si stanno valutando anche le politiche da adottare all'interno di Orion Spa.

4.5 Piani di lavoro e ordini di manutenzione

Una volta effettuata la scomposizione delle macchine, create le anagrafiche dei componenti all'interno del software Prometeo e avendo eseguito l'analisi FMECA sui componenti, è stato possibile identificare quale fosse la politica manutentiva da adottare per quei componenti sul quale inizialmente si era concentrata l'attenzione e per cui, dunque, erano state effettuate con anticipo tutte le azioni sopra elencate.

L'obiettivo prefissato è stato quello di generare degli ordini di manutenzione pilota su attività routinarie di manutenzione. In questo modo era possibile controllare un'attività ripetitiva, con scadenze fissate e modalità di lavoro prestabilite. Allo stesso tempo si è potuta approfondire la conoscenza del software e dunque comprenderne meglio le modalità di lavoro.

Volendo quindi analizzare la modalità con cui si può generare un ordine di manutenzione attraverso Prometeo, si riporta l'esempio del primo ordine di manutenzione creato, il quale riguarda l'attività ciclica di pulizia e sostituzione delle guarnizioni delle valvole di iniezione di isocianato.

Prima di poter creare un ordine di manutenzione è fondamentale creare un piano di lavoro per quell'ordine di manutenzione. Il piano di lavoro (PDL) è la raccolta di una serie di azioni che indicano ciò che il manutentore deve svolgere per eseguire l'intervento di manutenzione a cui il PDL è associato. Queste azioni sono chiamate fasi.

Come è possibile vedere in Figura 4.5, anche il piano di lavoro è identificato attraverso un codice ed una descrizione che definisce l'azione complessiva che dovrà essere svolta. Nel nostro esempio la descrizione è semplicemente "Pulizia valvola isocianato".

Fase	Codice	Descrizione Operazione	Tipo
10	Ⓢ		

Quota	Val. min	Val. max	UM	Componente	Cod. Macchina	Codice Modello	Obbligatorio
0	0	0	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	Ⓢ	<input type="checkbox"/>

Figura 4.10: Anagrafica per la compilazione del piano di lavoro

Come si può sempre vedere da figura all'interno della fase possono essere specificate molte voci tra cui il codice dell'operazione che si deve svolgere e la descrizione della stessa. L'azione ad esempio potrebbe essere "smontaggio valvola".

La voce tipo indica quale sia il tipo di azione che viene effettuata. Secondo una logica scelta in azienda si è pensato di dividere il tipo di azione in solo tre categorie:

- Ispezione / pulizia, ossia un tipo di intervento visivo o un'azione che non richiede strumentazione;
- Verifica, ossia un tipo di intervento di monitoraggio e controllo che richiede l'utilizzo di strumentazione;
- Intervento, che può essere distinto in una riparazione o in una sostituzione, ossia in un intervento comunque complesso.

Possono essere successivamente specificati altri parametri come la presenza di un valore che bisogna mantenere, con i suoi scostamenti massimo e minimo, l'unità di misura del componente che si va a sostituire, su quale macchina si vende il componente e quale sia il codice della stessa.

Oltre a questa prima anagrafica è possibile completarne una seconda in cui si indicano quali siano i ricambi necessari all'intero del piano di lavoro che è stato stilato. In questo modo è possibile predisporre già questi componenti per il montaggio e dunque ottimizzare i tempi di intervento.

Sotto la voce sicurezza, invece, possono essere inserite alcune voci riguardanti dispositivi di protezione individuale (DPI) che devono essere utilizzati nel determinato intervento, alcuni fattori di rischio a cui si deve prestare maggiore attenzione, azione preventive che, di conseguenza, bisogna adottare e, infine, attrezzi particolari di cui l'intervento richiede l'utilizzo e che solitamente non vengono utilizzati negli interventi quotidiani.

Aggiunte dunque queste voci e create le diverse fasi di intervento, il PDL è completo.

A questo punto è possibile creare l'ODM desiderato. Si seleziona la macchina interessata e si crea l'ordine di manutenzione.

L'anagrafica che Prometeo restituisce è quella in Figura 4.6.

Nuovo: Piani di manutenzione Salva

Macchina [01150120] Valvola di testa Iso... Stato Macchina A

Piano 10 Descr. Sintetica *

Descrizione Intervento *

Tipo Frequenza [S] Settimane Frequenza * 0 Tipo ODM [O] Programmato Stato ODM [A] Attivo Programmato

Incaricato [O] Da assegnare Durata intervento h 0 Durata intervento min 0

Tipo Lavoro [O] Generico Riferimento Interno Previsto Fermo Impianto Giorni Preavviso 15

Dati generici

- Incaricati
- Pianificazione
- Note
- PDL
- Altri Dati

Figura 4.11: Anagrafica del piano di manutenzione

Molte voci nell'anagrafica appaiono già compilate ma quasi tutte sono modificabili. Viene appunto chiesta una descrizione del piano, la frequenza di intervento, se l'azione è programmata, ciclica o correttiva. Possono essere inoltre indicati la durata dell'intervento, l'incaricato che si occupa della manutenzione, il tipo di lavoro che deve essere svolto.

Come si vede dalla Figura 4.6 sono compilabili anche altre anagrafiche nelle quali si possono inserire i nomi di altri incaricati per il medesimo lavoro, la pianificazione del lavoro, intesa come ripetizione della stessa attività "ogni quanto tempo" e "per quanto tempo", l'introduzione del PDL creato appositamente per questo intervento, eventuali note o altri dati, dove si indica ad esempio se la manutenzione è esterna o interna, occorrono attrezzi o macchinari particolari ed altre informazioni di questo tipo.

Inserite tutte le informazioni è possibile generare l'ordine di manutenzione. Il software acquisisce il nuovo piano di manutenzione e lo inserisce all'interno del suo database. In base alla frequenza di intervento posta all'interno dell'anagrafica il software restituirà dei messaggi d'avviso con un preavviso che è stato sempre inserito in fase di compilazione delle anagrafiche.

Con l'inserimento dei diversi ODM si può quindi ottenere un piano di intervento preciso e mirato. La programmazione degli interventi risulta più semplice e possono essere gestiti con più consapevolezza i fermi macchina. Ciò che si viene a creare è una lista di interventi settimanali scanditi nei diversi giorni. Si è eliminata parte dell'incertezza dovuta a molti interventi di tipo correttivo che non davano possibilità di prepararsi anticipatamente all'intervento stesso.

Il risultato ottenuto finora è ancora parziale. Tempi e modalità di svolgimento delle diverse operazioni possono essere ancora considerati in fase di prova. Tuttavia si è molto fiduciosi nel poter creare un metodo di lavoro sempre più organizzato. Man a mano che verranno definite le politiche manutentive per tutti i componenti sarà molto più facile poter gestire le risorse a disposizione ed i tempi di intervento.

Tutt'ora, e anche in futuro, l'obiettivo sarà sempre quello di cercare di aumentare la disponibilità produttiva delle macchine, intervenendo in particolare nel miglioramento delle azioni manutentive e l'abbassamento dei tempi di riparazione.

Conclusioni

Dovendo analizzare il lavoro che si è svolto negli ultimi mesi si può facilmente evidenziare come si siano create tutte le basi per affrontare e portare a termine nel migliore dei modi il progetto manutenzione voluto fortemente dalla dirigenza Orion Spa.

Se infatti il lavoro svolto non ha ancora completamente raggiunto gli obiettivi iniziali, tali obiettivi pare possano essere completati in un orizzonte non troppo ampio.

Gli scopi che si prefissava il progetto erano quelli di:

- Un'ottimizzazione dei costi della manutenzione, ai quali si sta facendo fronte attraverso l'inventario dei beni di ricambio presenti a magazzino, il monitoraggio degli interventi di manutenzione correttiva e delle spese ad essi correlate, la gestione del personale addetto. Lo scopo ultimo di tale obiettivo è quello di incontrare il miglior compromesso tra immobilizzazioni e spese. In altre parole, poter giungere alla situazione ottimale nel quale siano presenti a magazzino solamente i ricambi essenziali per gli interventi programmati e quindi le spese per eventuali azioni correttive siano solo quelle che si rendono indispensabili per il proseguimento dell'attività produttiva;
- Un aumento della disponibilità produttiva delle attrezzature, a cui si risponde con la programmazione degli interventi, attraverso l'emissione degli ordini di manutenzione, e il miglioramento degli interventi medesimi, cercando di diminuire il tempo effettivo di riparazione. Proprio per poter essere maggiormente efficaci e per poter intervenire sul sistema con miglior incisività si è svolta l'analisi FMECA dei componenti, attraverso la quale si è reso possibile identificare quali siano i componenti più soggetti ad un possibile guasto, fattore evidenziato da un più alto valore dell'indice di criticità;
- Poter garantire il rispetto dei programmi di produzione, obiettivo che sarà effettivamente raggiunto quando tutte le azioni di correzione che rientrano nel progetto riusciranno ad essere portate a regime. I tempi di produzione riusciranno ad essere previsti in modo migliore quando si potranno avere le informazioni complete riguardo a fermi della produzione o fermate strategiche dovute a scopi manutentivi giustificati. Ciò quindi risulterà fattibile quando verranno identificate le politiche manutentive proprie per ogni modo di guasto evidenziato;
- Poter gestire i cicli di vita dei macchinari, motivo per il quale si è avviato lo storico degli interventi con la segnalazione dei pezzi su cui maggiormente si interviene. A tal proposito una scomposizione di macchina ben effettuata risulta utile a comprendere quali siano i componenti che più spesso vanno incontro a situazioni di guasto. Inoltre, il monitoraggio delle diverse macchine è utile nelle situazioni in cui si deve scegliere se continuare ad agire sul macchinario attraverso una politica

di manutenzione o se invece sia necessario sostituirlo completamente. Tale discorso è valido anche per i ricambi, ossia utilizzo di ricambi ricondizionati su macchine datate che renderebbero inutile l'impiego di ricambi performanti e magari poco adattabili alle caratteristiche della macchina medesima;

- Fissare un possibile budget annuale da destinare alla manutenzione aziendale. Come si può facilmente comprendere tale obiettivo è raggiungibile solo quando saranno raggiunti tutti i precedenti obiettivi stilati. Il budget infatti deve tener conto di tutti gli interventi manutentivi che si svolgono, preventivi o correttivi, di tutti i possibili costi imprevisti, della manodopera e dei costi di gestione dei magazzini, comprensivi di pezzi di ricambio e dei costi di giacenza. La redazione del budget permetterà di comprendere se la manodopera sia sufficiente rispetto alle esigenze aziendali e se ciò che si prevede come spesa annuale, preventivo, si possa incontrare con quelle che sono le spese effettivamente sostenute, consuntivo.

Attraverso quindi le varie azioni implementate si sta cercando di portare a compimento ciascuno dei punti appena elencati. I tempi di realizzazione si sono leggermente allungati a causa dei diversi aggiustamenti effettuati nel corso dello sviluppo del progetto e di alcune difficoltà interne dovute a meccanismi propri dell'azienda con cui ci si è dovuti inevitabilmente scontrare.

I risultati attualmente ottenuti sono positivi. Gli interventi programmati riescono ad essere sempre più efficienti e il controllo dei modi di guasto attraverso lo storico più dettagliati. Non vi è ancora un controllo ottimale sull'acquisto dei pezzi di ricambio, nel senso che non sempre si passa per l'ufficio acquisti, bypassandolo per far in modo che i pezzi arrivino prima nelle mani dei manutentori. Tuttavia questo aspetto sta via via diminuendo allo scopo appunto di poter creare il budget di manutenzione fortemente richiesto a livello dirigenziale.

Nonostante questi piccoli imprevisti, si presume che, entro i primi mesi del prossimo anno, possano essere portate a regime la totalità delle misure previste per il compimento degli obiettivi prestabiliti.

Appendice A: Scomposizione e codifica dei macchinari

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0205	Giostra						
		01	Stazione n° 1				
				05	Pistone giraforma		
						OLD145437	Pistone
						DIS751294	Distribuzione olio
						DIS245143	Distribuzione elettrica
						ELT716825	Elettrovalvola
						ELT767235	Sensore magnetico di posizione
						OLD492367	Guarnizione di tenuta
						MEC473936	Ruota dentata
				10	Pistone salita / discesa		
						OLD489413	Pistone
						DIS447573	Distribuzione olio
						DIS903388	Distribuzione elettrica
						ELT422267	Elettrovalvola
						ELT524238	Sensore magnetico di posizione
						OLD762825	Guarnizione di tenuta

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0205	Giostra						
		01	Stazione n° 1				
				15	Pistone zeppa		
						OLD736995	Pistone
						DIS256121	Distribuzione olio
						DIS700498	Distribuzione elettrica
						ELT252370	Elettrovalvola
						ELT438884	Sensore magnetico di posizione
						OLD524943	Guarnizione di tenuta
				20	Pistone anelli		
						PNU662423	Pistoni chiusura
						DIS388121	Distrib aria
						DIS419212	Distribuzione elettrica
						ELT526019	Elettrovalvola
						ELT788973	Sensore magnetico di posizione
						OLD369331	Guarnizione di tenuta
				25	Termoregolatori		
						ELT665562	Resistenza salita / discesa
						ELT632382	Resistenza anelli

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0205	Giostra						
		01	Stazione n° 1				
				30	Termostato anelli		
						ELT910191	Termocoppia
				35	Termostato zeppa		
						ELT113511	Termocoppia
				40	Fornelletto porta suole		
						ELT989433	Resistenza
				45	Pannello comand manuale		
						ELT658617	Cont pulsante girostampo
						ELT769752	Cont pul salita/discesa
						ELT516643	Cont pul anelli
						ELT541173	Cont pul zeppa
						ELT511269	Cont pul fermata
						ELT809246	Cont pul chiave
						ELT668216	Cont pul salvavita
						ELT950238	PLC di stazione

Lo schema vale per le 24 stazioni. Cambia il codice del II° livello che passa a 02, 03,

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0205	Giostra						
		25	Centro giostra				
				ELT777911	Centro giostra elettrico		
				MEC375619	Pompa vuoto		
				MEC279424	Cuscinetti a rulli conici		
				MEC769702	Cuscinetti a sfera		
				OLD458170	Guarnizioni olio		
				PNU787048	Guarnizioni aria		
				25	Distributore elettrico		
						ELT851498	Distributore elettrico
						MEC788381	Spazzole circuiti striscianti
						MEC993053	Rotelline allineamento parte fissa e mobile
				DIS117601	Distribuzione circuito aria		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0205	Giostra						
		25	Centro giostra				
				35	Micro finecorsa stazione 1		
						ELT450756	Micro
				40	Camme stazione 1		
						MEC431646	Camma
		26	Base				
					MEC820750		Motore
					MEC172765		Riduttore
					ELT104696		Fotocellule
		27	Unità di controllo				
					ELN651255		Monitor, tastiera, mouse, pc
					ELT566833		PLC centrale
					ELN869572		Switch di rete

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0210	Distaccante						
		01	Unità di funzionamento				
				ELT379250	Pacchetto batterie		
				DIS139422	Cavi collegamento base – robot distaccante		
				ELN202185	Pc e software distaccante		
				ELT722506	Tastiera di comando distaccante		
				ELT753237	PLC distaccante		
				ELN692669	Inverter distaccante		
				PNU356074	Filtri quadro elettrico distaccante		
				ELN214552	Schede elettroniche distaccante		
		02	Assi				
				MEC729629	Motore distaccante		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0210	Distaccante						
		03	Pistola elettrostatica				
				MEC773987	Pistola		
				MEC615040	Ugello distaccante		
				MEC175211	Regolatore pressione		
				ELN170786	Centralina di controllo		
				25	Alimentazione distaccante		
						DIS404699	Alimentazione distaccante
						MEC276017	Serbatoio
						MEC562294	Pescante con filtro
		04	Unità di aspirazione				
				MEC110314	Motore aspirazione distaccante		
				PNU125631	Cappe distaccante		
				DIS978741	Tubi distaccante		
				PNU587972	Filtri distaccante		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		01	Iniezione				
				PNU103736	Pistone pneumatico avanzamento		
				PNU233361	Pistone pneumatico pulizia		
				15	Valvola di testa poliolo		
						MEC247433	Valvola di testa
						OLD648693	Tenute interne
						MEC380194	Ugello
				20	Valvola di testa isocianato		
						MEC247433	Valvola di testa
						OLD648693	Tenute interne
						MEC380194	Ugello

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Machina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		01	Iniezione				
				25	Valvola di testa colore 1		
						MEC247433	Valvola di testa
						OLD648693	Tenute int
						MEC380194	Ugello
						MEC946391	Spillo centrale
				30	Valvola di testa colore 2		
						MEC247433	Valvola di testa
						OLD648693	Tenute int
						MEC380194	Ugello
						MEC946391	Spillo centrale
				35	Valvola di testa colore 3		
						MEC247433	Valvola di testa
						OLD648693	Tenute int
						MEC380194	Ugello
						MEC946391	Spillo centrale

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		01	Iniezione				
				40	Motore cinghia		
						MEC843863	Mandrino
						ELN594594	Inverter mandrino
						MEC350060	Vite
						MEC155023	Cuscinetti mandrino
						MEC258536	Cinghia di connessione col mandrino
				ELT53920	Elettrovalvole per l'iniezione		
				ELT467997	Resistenza delle testate		
				MEC968527	Bicchiere raffreddato		
				MEC450592	Lettore contagiri vite di miscelazione		
				DIS665580	Circuito raffreddamento		
				MEC907037	Sistema paraspruzzi		
				ELT820200	Fotocellule carro iniezione		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		02	Basamento				
				05	Motoriduttore isocianato		
						MEC274389	Motoriduttore
						ELN823259	Encoder
						ELN193935	Inverter
				10	Motoriduttore poliolo		
						MEC274389	Motoriduttore
						ELN823259	Encoder
						ELN193935	Inverter
				15	Motoriduttore colore 1		
						MEC274389	Motoriduttore
						ELN823259	Encoder
						ELN193935	Inverter
				20	Motoriduttore colore 2		
						MEC274389	Motoriduttore
						ELN823259	Encoder
						ELN193935	Inverter
				25	Motoriduttore colore 3		
						MEC274389	Motoriduttore
						ELN823259	Encoder
						ELN193935	Inverter

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		02	Basamento				
				30	Pompa a ingranaggi isocianato		
						MEC850636	Motore
						MEC227353	Riduttore
						OLD578159	Tenute albero
						MEC535749	Usura alberini
						MEC297455	Pompa a ingranaggi
				35	Pompa a ingranaggi poliolo		
						MEC850636	Motore
						MEC227353	Riduttore
						OLD578159	Tenute albero
						MEC535749	Usura alberini
						MEC297455	Pompa a ingranaggi
				40	Pompa a ingranaggi colore 1		
						MEC850636	Motore
						MEC227353	Riduttore
						OLD578159	Tenute albero
						MEC535749	Usura alberini
						MEC297455	Pompa a ingranaggi

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		02	Basamento				
				45	Pompa a ingr colore 2		
						MEC850636	Motore
						MEC227353	Riduttore
						OLD578159	Tenute albero
						MEC535749	Usura alberini
						MEC297455	Pompa a ingr
				30	Pompa a ingr colore 3		
						MEC850636	Motore
						MEC227353	Riduttore
						OLD578159	Tenute albero
						MEC535749	Usura alberini
						MEC297455	Pompa a ingr
		03	Meccanismo di pulitura				
				MEC436429	Paletta		
				10	Pistoni movimento		
						OLD162430	Pistone
						OLD899352	Tenute
				15	Quadro di controllo		
						ELT581701	Elettrovalvole

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		04	Pannello comando manuale				
				05	Terminali elettrici		
						ELT662760	Contatto elettrico pulsante avanzamento vite
						ELT995483	Cont elet pul 0/1 rotazione vite
						ELT668962	Cont elet pul avanzamento macchina
						ELT520858	Cont elet pul rotazione giostra
						ELT507545	Cont ele pul rotazione giostra a scatto
						ELT848683	Cont elet pul avviamento giostra
						ELT768829	Cont elet pul pulizia vite
						ELT151971	Cont elet pul arresto giostra
						ELT344464	Cont elet pul test spurgo

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0215	Iniettore PU1						
		04	Pannello comando manuale				
				05	Terminali elettrici		
						ELT935173	Cont elet pul 1/0/1 porta
						ELT720072	Cont elet pul emergenza
						ELT664414	Cont elet ALTRO pulsante

La medesima scomposizione della macchina a iniezione PU1 vale per la macchina PU2. In questo caso però il numero che si riferisce al codice macchina sarà 225 invece che 125.

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0220	Cardatore						
		01	Unità di funzionamento				
				ELT573444	Pacchetto batterie		
				DIS696163	Cavi collegamento base – robot cardatore		
				ELN981518	Pc e software		
				ELT625970	Tastiera di comando		
				ELT472951	PLC cardatore		
				ELN335166	Inverter cardatore		
				PNU397162	Filtri quadro elettrico cardatore		
				ELN372869	Schede elettroniche		
				ELN254358	Joystick		
				DIS725612	Cavi joystick		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0220	Cardatore						
		02	Assi				
				MEC732084	Motori assi cardatore		
				MEC747391	Cuscinetti		
				MEC527386	Snodi in bagno d'olio		
		03	Testa				
				MEC349529	Fresinio ad alta velocità		
				MEC436869	Alberino		
				MEC938089	Fresa diamantata (utensile)		
				ELT556777	Elettrovalvole di controllo		
				DIS211529	Tubi aria		
				MEC144603	Cuscinetti		
				MEC894087	Pistoncini attuatori		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0220	Cardatore						
		04	Aspirazione				
				PNU325455	Bocchetta aspirazione da testa		
				10	Filtri aspirazione cardatore		
						PNU974958	Pulizia
						PNU742279	Sostituzione
				DIS737168	Tubi aspirazione cardatore		
				MEC346881	Pompa aspirazione		
				MEC630905	Motore elettrico		
				DIS436891	Tubo flessibile		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0230	Serbatoi PU1						
		01	Serbatoio poliolo				
				05	Quadro temperature		
						ELT577863	Resistenza
						ELT961411	Termoregolatore
				10	Olio diatermico		
						MEC407217	Pompa
						OLD514174	Guarnizioni
						ELT282020	Resistenze
						DIS781674	Circuito olio
						MEC200542	Cuscinetti
				15	Pressostato		
						MEC284998	Bulbo
						ELT803991	Strumento
				DIS172044	Tubi alimentazione		
				MEC302608	Pala miscelazione		
				PNU310351	Filtro a rete		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0230	Serbatoi PU1						
		02	Serbatoio isocianato				
				05	Quadro temperature		
						ELT577863	Resistenza
						ELT961411	Termoregolatore
				10	Olio diatermico		
						MEC407217	Pompa
						OLD514174	Guarnizioni
						ELT282020	Resistenze
						DIS781674	Circuito olio
						MEC200542	Cuscinetti
				15	Pressostato		
						MEC284998	Bulbo
						ELT803991	Strumento
				DIS172044	Tubi alimentazione		
				MEC302608	Pala miscelazione		
				PNU310351	Filtro a rete		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0230	Serbatoi PU1						
		03	Serbatoio colore 1				
				05	Quadro temperature		
						ELT577863	Resistenza
						ELT961411	Termoregolatore
				10	Olio diatermico		
						MEC407217	Pompa
						OLD514174	Guarnizioni
						ELT282020	Resistenze
						DIS781674	Circuito olio
						MEC200542	Cuscinetti
				15	Pressostato		
						MEC284998	Bulbo
						ELT803991	Strumento
				DIS172044	Tubi alimentazione		
				MEC302608	Pala miscelazione		
				PNU310351	Filtro a rete		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0230	Serbatoi PU1						
		04	Serbatoio colore 2				
				05	Quadro temperature		
						ELT577863	Resistenza
						ELT961411	Termoregolatore
				10	Olio diatermico		
						MEC407217	Pompa
						OLD514174	Guarnizioni
						ELT282020	Resistenze
						DIS781674	Circuito olio
						MEC200542	Cuscinetti
				15	Pressostato		
						MEC284998	Bulbo
						ELT803991	Strumento
				DIS172044	Tubi alimentazione		
				MEC302608	Pala miscelazione		
				PNU310351	Filtro a rete		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0230	Serbatoi PU1						
		01	Serbatoio colore 3				
				05	Quadro temperature		
						ELT577863	Resistenza
						ELT961411	Termoregolatore
				10	Olio diatermico		
						MEC407217	Pompa
						OLD514174	Guarnizioni
						ELT282020	Resistenze
						DIS781674	Circuito olio
						MEC200542	Cuscinetti
				15	Pressostato		
						MEC284998	Bulbo
						ELT803991	Strumento
				DIS172044	Tubi alimentazione		
				MEC302608	Pala miscelazione		
				PNU310351	Filtro a rete		

Per i serbatoi del PU2 la scomposizione è la medesima con codice macchina 235 invece di 230.

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0240	Quadri elettrici						
		01	Componenti elettrici				
				ELN480526	Inverter motore		
				ELT524025	Teleruttore		
				ELN504014	Relè		
				ELT143703	PLC di controllo		
				ELT119023	Porta fusibili		
				ELT919550	Selettori		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0245	Iniettore TPU						
		01	Iniezione				
				05	Cilindro		
						ELT177693	Resistenza camicia 1 (testa)
						ELT750718	Resistenza camicia 2 (corpo)
						ELT223052	Resistenza camicia 3 (retro)
						MEC605439	Vite
						PNU499509	Ventola raffreddamento
				10	Ugello		
						MEC380194	Ugello iniettore
						ELT621613	Resistenza ugello
				ELT804070	Termocoppia di lettura		
				MEC579916	Carro di avanzamento		
				OLD332233	Pistone iniezione idraulico		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0245	Iniettore TPU						
		01	Iniezione				
				30	Olio idraulico		
						LBR540924	Rabbocco
				MEC586680	Pompa olio idraulico		
				DIS622096	Tubi idraulici		
				MEC440333	Valvole circuito idraulico		
				OLD955225	Guarnizione olio		
				55	Vasca olio		
						LBR953558	Rabbocco olio
						MEC539247	Cartuccia filtro
				MEC108198	Motore aspiratore		
				DIS861213	Circuito acqua raffredd		
				MEC484567	Paletta scarico materiale		

Cod	I° livello	Cod	II° livello	Cod	III° livello	Cod	IV° livello
	Macchina		Assiemi funzionali		Sottoassiemi		Componenti critici
0245	Iniettore TPU						
		01	Essiccatore				
				MEC101645	Pompa		
				MEC121260	Silos		
				ELT834571	Resistenze		
				ELT504780	Termostati		
				PNU652056	Filtri		
				DIS211786	Tubi		
				PNU314382	Ventilatori		
				MEC224240	Motore aspiratore		
0295	Lampada riscaldament o suole						
		01	Componentistica				
				PNU301799	Pistone ad aria		
				ELT303033	Elettrovalvola		
				ELT763001	Lampade di riscaldamento		

La scomposizione proposta è per una delle quattro isole di lavoro. Le altre sono simili, cambiano solo alcuni componenti e, naturalmente, tutti i codici delle macchine.

Appendice B: Analisi FMECA delle macchine

Analisi FMECA dei ricambi della giostra di iniezione. I codici possono essere confrontati con quelli della scomposizione in Appendice A.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
OLD145437	perdita olio	24	1	1	sporco di olio sulla tomaia / sgocciolamento sullo stampaggio	1	24	8	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD145437	1	chiavi	-
DIS751294	usura materiale tubi	48	0,07	10	sporco olio su tomaia e zona circostante	1	3,2	30	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS751294	1	chiavi	-
DIS245143	sostituzione cavo	24	0,03	1	-	1	0,6	1	usura	-	-	cavo	DIS245143	1	chiavi	-
ELT716825	perdita olio	24	0,10	3	-	0,5	1,2	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT716825	0,5	chiavi	-
ELT716825	si brucia la bobina	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	evento casuale	-	-	bobina	ELT716825	0,5	chiavi / cacciavite	-
ELT716825	trafilamento olio interno	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT716825	0,5	chiavi	-
ELT767235	no segnale	48	0,4	1	-	15	288	10	residui di materiale o sporczia	no rotazione	accumulo di residui	componente completo	ELT767235	1	chiave 17	allarme macchina
OLD492367	usura	48	1	1	sporco di olio sulla tomaia / stampo	1	48	8	usura	-	perdite di olio	guarnizioni	OLD492367	1	chiavi	-
MEC473936	spaccatura a metà	24	3	1	-	1	72	10	usura	giraforma bloccato	nessuno	ingranaggio	MEC473936	1	chiavi	giraforma bloccato

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indip. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
OLD489413	perdita olio	24	1	1	sporco di olio sulla tomaia	1	24	8	usura	blocco pistone	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD489413	1	chiavi	blocco pistone
OLD489413	rottura del codolo	24	0,4	1	-	2	19,2	5	usura	caduta della stazione	nessuno	stelo completo	OLD489413	1	chiavi	caduta della stazione
DIS447573	usura materiale tubi	48	0,07	10	sporco olio su tomaia e zona circostante	1	3,2	30	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS447573	1	chiavi	-
DIS903388	sostituzione cavo	24	0,03	1	-	1	0,6	1	usura	-	-	cavo	DIS903388	1	chiavi	-
ELT422267	perdita olio	24	0,10	3	-	0,5	1,2	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT422267	0,5	chiavi	-
ELT422267	si brucia la bobina	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	evento casuale	mancata movimentazione	-	bobina	ELT422267	0,5	chiavi / cacciavite	mancata movimentazione
ELT422267	trafilamento olio interno	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT422267	0,5	chiavi	-
ELT524238	no segnale	48	0,4	1	-	15	288	10	residui di materiale o sporcizia	no salita o discesa	accumulo di residui	componente completo	ELT524238	1	chiave 17	allarme macchina
OLD762825	usura	48	0,5	1	sporco di olio sulla tomaia / stampo	1	24	8	usura	-	perdite di olio	guarnizioni	OLD762825	1	chiavi	-
OLD736995	perdita olio	24	0,4	1	sporco di olio sulla tomaia	1	9,6	5	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD736995	1	chiavi	-
DIS256121	usura materiale tubi	48	0,07	10	sporco olio su tomaia e zona circostante	1	3,2	30	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS256121	1	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
DIS700498	sostituzione cavo	24	0,03	1	-	1	0,6	1	usura	-	-	cavo	DIS700498	1	chiavi	-
ELT252370	perdita olio	24	0,10	3	-	0,5	1,2	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT252370	0,5	chiavi	-
ELT252370	si brucia la bobina	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	evento casuale	-	-	bobina	ELT252370	0,5	chiavi / cacciavite	mancata movimentazione
ELT252370	trafilamento olio interno	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT252370	0,5	chiavi	-
ELT438884	no segnale	48	0,4	1	-	15	288	10	residui di materiale o sporcizia	no controllo zeppa	accumulo di residui	componente completo	ELT438884	1	chiave 17	allarme macchina
OLD524943	usura	48	0,05	1	-	3	7,2	5	usura	-	perdite di olio	guarnizioni	OLD524943	1	chiavi	-
PNU662423	chiusura non completa	48	0,3	1	stampaggio sbavato	1,5	21,6	8	usura guarnizione pistone pneumatico	-	si sente il soffio	guarnizioni del pistone	PNU662423	1	chiavi	anelli non chiudono / sbavatura da stampaggio
DIS388121	usura materiale tubi	48	0,07	10	-	1	3,2	30	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS388121	1	chiavi	-
DIS419212	sostituzione cavo	24	0,03	1	-	1	0,6	1	usura	-	-	cavo	DIS419212	1	chiavi	-
ELT526019	perdita olio	24	0,10	3	-	0,5	1,2	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT526019	0,5	chiavi	-
ELT526019	si brucia la bobina	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	evento casuale	-	-	bobina	ELT526019	0,5	chiavi / cacciavite	mancata movimentazione

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT526019	trafilamento olio interno	24	0,03	3	-	0,5	0,3	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT526019	0,5	chiavi	-
ELT788973	no segnale	96	0,4	1	-	1	38,4	8	rottura interferenza meccanica, sporcizia	no controlli o anelli	nessuno	componente completo	ELT788973	1	chiave 17	allarme macchina
OLD369331	usura	48	0,05	1	-	1	2,4	3	usura	-	perdite di olio	guarnizioni	OLD369331	1	chiavi	-
ELT665562	si brucia la resistenza	24	0,03	1	con stampo freddo scarto delle prime calzature	1	0,8	1	casuale	-	-	resistenza	ELT665562	1	chiavi, cacciavite	non si scalda la parte interessata
ELT632382	si brucia la resistenza	24	0,03	1	con stampo freddo scarto delle prime calzature	1	0,8	1	casuale	-	-	resistenza	ELT632382	1	chiavi, cacciavite	non si scalda la parte interessata
ELT910191	spento	24	0,4	1	tracce residue di distaccante sull'anello (distaccante non evapora)	1,5	14,4	5	casuale	-	-	termostato completo	ELT910191	1	chiavi, cacciavite	display spento, lampeggiante
ELT910191	termocoppia non da segnale	24	0,4	2	tracce residue di distaccante sull'anello	2,5	24	16	casuale	-	nessuno	termocoppia	ELT910191	1	chiavi, cacciavite	segnale di errore (rottura sonda)

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. r. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata ferma	Indis. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT11351 1	spento	24	0,4	1	tracce residue di distaccante sull'anello (distaccante non evapora)	1,5	14,4	5	casuale	-	-	termostato completo	ELT11351 1	1	chiavi, cacciavite	display spento, lampeggiante
ELT98943 3	spento	24	0,4	1	tracce residue di distaccante sull'anello	0,1	0,96	1	casuale	-	-	termostato completo	ELT98943 3	1	chiavi, cacciavite	display spento, lampeggiante
ELT65861 7	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	L'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT65861 7	1	cacciavite	-
ELT76975 2	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT76975 2	1	cacciavite	-
ELT51664 3	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT51664 3	1	cacciavite	-
ELT54117 3	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT54117 3	1	cacciavite	-
ELT51126 9	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT51126 9	1	cacciavite	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata a fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT809246	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT809246	1	cacciavite	-
ELT668216	ossidazione contatto	24	0,05	1	-	0,5	0,6	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT668216	1	cacciavite	-
ELT950238	spento	24	0,4	1	-	1	9,6	5	casuale	blocco stazione	riscalda	PLC	ELT950238	1	chiavi	allarme macchina
MEC375619	rottura	1	0,07	10	-	2	0,13	10	casuale	-	-	pompa	MEC375619	1	chiavi	-
ELT777911	surriscaldamento	1	0,05	10	-	6	0,3	10	surriscaldamento	-	falsi contatti elettrici riguardanti il centro giostra	centro giostra	ELT777911	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	macchina funziona a intermittenza
MEC279424	rottura	1	0,05	10	-	8	0,4	10	rottura	blocco centro giostra	rumore	cuscinetti a rulli conici	MEC279424	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	blocco centro giostra
MEC769702	rottura	1	0,05	10	-	8	0,4	10	rottura	blocco centro giostra	rumore	cuscinetti a sfera	MEC769702	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	blocco centro giostra
OLD458170	perdita olio	4	0,4	10	-	1	1,6	10	usura per movimenti ripetuti	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD458170	1	chiavi / cacciavite	-
PNU787048	legata a olio	4	0,4	10	-	1	1,6	10	legata a olio	-	-	guarnizioni	PNU787048	1	chiavi / cacciavite	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. r. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT851498	rottura	1	0,05	10	-	6	0,3	10	rottura	blocco giostra	falsi contatti elettrici	centro giostra	ELT851498	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	macchina funziona a intermittenza
MEC788381	accumulo residui	1	2	10	-	1	2	30	polvere da sfregamento, polvere ambientale	-	arresti e partenze fuori posizione	spazzole	MEC788381	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	-
MEC993053	accumulo residui	2	3	11	-	2	12	55	polvere da sfregamento, polvere ambientale	-	arresti e partenze fuori posizione	rotelline allineamento	MEC993053	1	chiavi, cacciavite, supporto tecnico esterno	-
DIS117601	perdita aria	2	1	10	-	1	2	30	usura per movimenti ripetuti	-	rumore persita aria	tubi	DIS117601	1	chiavi / cacciavite	-
ELT450756	non legge	96	0,4	1	-	1	38,4	8	rottura, sporcizia	manca comando	nessuno	micro	ELT450756	1	chiavi	manca comando
MEC431646	-				-		0	0		-	-			1		-
MEC820750	arresto	1	0,4	10	-	24	9,6	50	usura	blocco macchina	rumore	motore completo	MEC820750	1	chiavi / cacciavite	allarme macchina
MEC172765	grippaggio	1	0,4	10	-	24	9,6	50	usura	blocco macchina	rumore	riduttore completo	MEC172765	1	chiavi / cacciavite	allarme macchina
ELT104696	non legge	2	0,3	1	-	1	0,6	1	sporcizia, guasto	-	nessuno	fotocellula	ELT104696	1	chiavi	-
ELN651255	guasto	2	0,3	10	-	2	1,2	10	casuale	-	-			1		allarme macchina
ELT566833	guasto	1	0,3	10	-	2	0,6	10	casuale	-	nessuno	PLC	ELT566833	1	chiavi	-
ELN869572	guasto	1	0,3	10	-	2	0,6	10	-	-	nessuno			1		-

Analisi FMECA dei ricambi del robot distaccante.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT379250	Sostituzione preventiva	1	0,5	10	-	2	1	10	-	-	-	pacchetto batteria	ELT379250	2	chiavi	-
DIS139422	usura	2	0,10	1	-	2	0,4	1	usura	blocco macchina	-	cavi	DIS139422	2	chiavi	blocco macchina
ELN202185	guasto	1	1	1	-	8	8	5	usura	blocco macchina	-		ELN202185	8		blocco macchina
ELT722506	tastiera	1	0,3	1	-	30	9	5	accumulo sporcizia	perdita funzioni distaccante	-	tastiera	ELT722506	30		perdita funzioni distaccante
ELT753237	spento	1	0,5	10	-	2	1	10	usura	blocco macchina	-	PLC	ELT753237	2	chiavi	blocco macchina
ELN692669	arresto del motore	3	0,4	10	-	2	2,4	30	surriscaldamento	blocco macchina	-	inverter	ELN692669	2	chiavi	blocco macchina
PNU356074	ostruzione	1	1	10	-	30	30	80	accumulo sporcizia	-	-	filtri	PNU356074	30	chiavi	-
ELN214552	rottura scheda	6	0,05	10	-	30	9	50	casuale	blocco macchina	funzionamento ad intermittenza	scheda pc	ELN214552	30	operatori esterni	blocco macchina
MEC729629	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	usura	blocco macchina	funzionamento irregolare	motore	MEC729629	2	chiavi	blocco macchina
MEC773987	rottura	1	0,10	10	-	2	0,2	10	rottura	-	-	pistola	MEC773987	2	chiavi	-
MEC615040	ostruzione	1	12	7	stampaggio che non si stacca	1	12	35	accumulo sporcizia	-	spruzzo irregolare, difficoltà stacco	ugello	MEC615040	1	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisp. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
MEC175211	perdita aria	4	0,5	7	-	2	4	21	usura	-	spruzzo irregolare, difficoltà stacco, rumore perdita aria	Regolatore di pressione	MEC175211	2	chiavi	-
ELN170786	perdita segnale	1	1	7	-	1	1	7	casuale	perdita controllo pistola	-	centralina	ELN170786	1	chiavi	perdita controllo pistola
DIS404699	usura	2	0,20	3	-	1	0,4	3	usura	-	perdite	tubi	DIS404699	1	chiavi	-
MEC276017	-	1	0	0	0	0	0	0	accumulo di residui, impurità	-	perdite	tubi	MEC276017	0	chiavi	-
MEC562294	ostruzione	1	0,5	7	-	2	1	7	accumulo sporczia	-	spruzzo irregolare, difficoltà stacco	tubi	MEC562294	2	chiavi	-
MEC110314	spento	2	0,5	1	-	2	2	3	usura	-	rumore surriscaldamento	motore elettrico	MEC110314	2	chiavi	-
PNU125631	ostruzione	2	1	1	-	2	4	3	accumulo sporczia	-	accumulo distaccante, presenza di aerosol		PNU125631	2		-
DIS978741	ostruzione	2	0,05	1	-	2	0,2	1	accumulo sporczia	-	accumulo distaccante, presenza di aerosol	tubi	DIS978741	2	chiavi	-
PNU587972	ostruzione	2	1	1	-	2	4	3	accumulo sporczia	-	accumulo distaccante, presenza di aerosol	filtri	PNU587972	2	chiavi	-

Analisi FMECA dei ricambi dell'iniettore de PU1 e PU2.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
PNU103736	pistone usurato	1	0,10	10	-	3	0,3	10	usura	no iniezione	rallentamento dei movimenti	pistone	PNU103736	3	chiavi	no iniezione
PNU233361	pistone usurato	1	0,10	10	-	3	0,3	10	usura	-	pulizia parziale	pistone	PNU233361	3	chiavi	-
MEC247433	scatto ritardato	12	0,5	7	iniezione difettosa	1	6	35	usura	no iniezione	nessuno	valvola di testa	MEC247433	1	chiavi	no iniezione
OLD648693	usura	6	2	10	-	1	12	50	usura	-	bloccaggio	guarnizioni	OLD648693	1	chiavi	-
MEC380194	intasamento	4	12	7	stampaggio incompleto	2	96	70	accumulo sporczia	no iniezione	stampaggio incompleto	ugello	MEC380194	2	chiavi	no iniezione
MEC247433	scatto ritardato	12	0,5	7	iniezione difettosa	1	6	35	usura	no iniezione	nessuno	valvola di testa	MEC247433	1	chiavi	no iniezione
OLD648693	usura	6	24	10	-	1	144	100	usura	-	bloccaggio	guarnizioni	OLD648693	1	chiavi	-
MEC380194	intasamento	4	12	7	stampaggio incompleto	2	96	70	accumulo sporczia	no iniezione	stampaggio incompleto	ugello	MEC380194	2	chiavi	no iniezione
MEC247433	scatto ritardato	12	0,5	7	iniezione difettosa	1	6	35	usura	mancata colorazione	nessuno	valvola di testa	MEC247433	1	chiavi	mancata colorazione
OLD648693	usura	6	4	10	-	1	24	80	usura	-	bloccaggio	guarnizioni	OLD648693	1	chiavi	-
MEC380194	intasamento	4	12	7	assenza, disuniformità colore	2	96	70	accumulo sporczia	mancata colorazione	nessuno	ugello	MEC380194	2	chiavi	mancata colorazione
MEC946391	rottura spillo	1	0,13	7	disuniformità colore	1	0,13	7	sporczia / rottura accidentale	-	-	spillo	MEC946391	1	chiavi	-
MEC247433	scatto ritardato	12	0,5	7	iniezione difettosa	1	6	35	usura	mancata colorazione	nessuno	valvola di testa	MEC247433	1	chiavi	mancata colorazione

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. r. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. p. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
OLD648693	usura	6	4	10	-	1	24	80	usura	-	bloccaggio	guarnizioni	OLD648693	1	chiavi	-
MEC380194	intasamento	4	12	7	assenza, disuniformità colore	2	96	70	accumulo sporczia	mancata colorazione	nessuno	ugello	MEC380194	2	chiavi	mancata colorazione
MEC946391	rottura spillo	1	0,13	7	disuniformità colore	1	0,13	7	sporczia / rottura accidentale	-	-	spillo	MEC946391	1	chiavi	-
MEC247433	scatto ritardato	12	0,5	7	iniezione difettosa	1	6	35	usura	mancata colorazione	nessuno	valvola di testa	MEC247433	1	chiavi	mancata colorazione
OLD648693	usura	6	4	10	-	1	24	80	usura	-	bloccaggio	guarnizioni	OLD648693	1	chiavi	-
MEC380194	intasamento	4	12	7	assenza, disuniformità colore	2	96	70	accumulo sporczia	mancata colorazione	nessuno	ugello	MEC380194	2	chiavi	mancata colorazione
MEC946391	rottura spillo	1	0,13	7	disuniformità colore	1	0,13	7	sporczia / rottura accidentale	-	-	spillo	MEC946391	1	chiavi	-
MEC843863	usura albero	2	0,03	10	-	1,50	0,08	10	usura	blocco macchina	-	mandrino	MEC843863	1,5	chiavi	blocco macchina
ELN594594	si brucia	1	0,07	10	-	1	0,07	10	casuale	-	-	inverter	ELN594594	1	cacciaviti	-
MEC350060	usura	3	0,33	1	-	0,50	0,5	1	usura	-	-	vite	MEC350060	0,5		-
MEC155023	usura	4	0,10	10	rumore e surriscaldamento	2	0,8	10	usura	-	rumore	cuscinetti	MEC155023	2	chiavi e cilindri	-
MEC258536	rottura cinghia	2	0,5	10	-	1	1	10	usura	-	nessuno	cinghia	MEC258536	1	chiavi	-
ELT53920	perdita olio	7	0,10	3	-	0,5	0,35	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT53920	0,5	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. p. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT53920	si brucia la bobina	7	0,03	3	-	0,5	0,09	3	evento casuale	-	-	bobina	ELT53920	0,5	chiavi / cacciavite	mancata movimentazione
ELT53920	trafilamento olio interno	7	0,03	3	-	0,5	0,09	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT53920	0,5	chiavi	-
ELT467997	rottura	2	1	10	-	1	2	30	-	-	-	resistenza	ELT467997	1	chiavi	-
MEC968527	perdita acqua da guarnizioni	2	1	10	-	2	4	30	usura	-	perdite acqua		MEC968527	2		-
MEC450592	rottura inverter	1	0,07	10	-	1	0,07	10	casuale	-	-	lettore contagiri	MEC450592	1	cacciaviti	-
MEC450592	rottura motore	1	0,07	10	-	1	0,07	10	casuale	-	-	lettore contagiri	MEC450592	1	chiavi e cacciaviti	blocco macchina
DIS665580	usura tubo	4	0,07	7	-	0,08	0,02	7	usura	-	perdite acqua	tubi	DIS665580	0,08333333	cutter	surriscaldamento
MEC907037	rottura parte in gomma	2	2	1	impossibile stampare	1	4	3	usura	-	funzionamento irregolare		MEC907037	1		-
ELT820200	non leggono	4	0,5	10	impossibile stampare	2	4	30	accumulo sporczia	-	nessuno	fotocellule	ELT820200	2	chiavi	-
MEC274389	rottura motore o riduttore	1	0,03	10	impossibile stampare	2	0,07	10	casuale	-	rumore o interruzione di una delle due parti	motoriduttore	MEC274389	2	chiavi e cacciaviti	-
ELN823259	rottura	1	0,10	7	impossibile stampare	3	0,3	7	casuale	-	mancati / errati rapporti di iniezione	encoder	ELN823259	3	chiavi e cacciaviti	-
ELN193935	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	surriscaldamento	blocco macchina	nessuno	inverter	ELN193935	2	chiavi e cacciaviti	blocco macchina

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. p. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
MEC274389	rottura motore o riduttore	1	0,03	10	impossibile stampare	2	0,07	10	casuale	-	rumore o interruzione di una delle due parti	motoriduttore	MEC274389	2	chiavi e cacciaviti	-
ELN823259	rottura	1	0,10	7	impossibile stampare	3	0,3	7	casuale	-	mancati / errati rapporti di iniezione	encoder	ELN823259	3	chiavi e cacciaviti	-
ELN193935	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	surriscaldamento	blocco macchina	nessuno	inverter	ELN193935	2	chiavi e cacciaviti	blocco macchina
MEC274389	rottura motore o riduttore	1	0,03	10	impossibile stampare	2	0,07	10	casuale	-	rumore o interruzione di una delle due parti	motoriduttore	MEC274389	2	chiavi e cacciaviti	-
ELN823259	rottura	1	0,10	7	impossibile stampare	3	0,3	7	casuale	-	mancati / errati rapporti di iniezione	encoder	ELN823259	3	chiavi e cacciaviti	-
ELN193935	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	surriscaldamento	blocco macchina	nessuno	inverter	ELN193935	2	chiavi e cacciaviti	blocco macchina
MEC274389	rottura motore o riduttore	1	0,03	10	impossibile stampare	2	0,07	10	casuale	-	rumore o interruzione di una delle due parti	motoriduttore	MEC274389	2	chiavi e cacciaviti	-
ELN823259	rottura	1	0,10	7	impossibile stampare	3	0,3	7	casuale	-	mancati / errati rapporti di iniezione	encoder	ELN823259	3	chiavi e cacciaviti	-
ELN193935	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	surriscaldamento	blocco macchina	nessuno	inverter	ELN193935	2	chiavi e cacciaviti	blocco macchina
MEC274389	rottura motore o riduttore	1	0,03	10	impossibile stampare	2	0,07	10	casuale	-	rumore o interruzione di una delle due parti	motoriduttore	MEC274389	2	chiavi e cacciaviti	-
ELN823259	rottura	1	0,10	7	impossibile stampare	3	0,3	7	casuale	-	mancati / errati rapporti di iniezione	encoder	ELN823259	3	chiavi e cacciaviti	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. p. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELN193935	arresto del motore	1	0,4	10	-	2	0,8	10	surriscaldamento	blocco macchina	nessuno	inverter	ELN193935	2	chiavi e cacciaviti	blocco macchina
MEC850636	rottura motore elettrico	1	0,5	10	impossibile stampare	2	1	10	usura	blocco pompa	nessuno	motore	MEC850636	2	chiavi e cacciaviti	blocco pompa
MEC227353	rottura/malfunzionamento riduttore	1	0,05	7	impossibile stampare	2	0,1	7	casuale	-	rumore e surriscaldamento	riduttore	MEC227353	2	chiavi e cacciaviti	-
OLD578159	usura tenute	1	1	1	-	2	2	3	usura	-	perdite iso	guarnizioni	OLD578159	2	chiavi	-
MEC535749	usura	1	0,05	1	-	2	0,1	1	usura	-	-	alberini	MEC535749	2	chiavi	-
MEC297455	perdite materiale	1	1	3	-	1	1	3	usura del premistoppa	-	perdite materiale	pompa	MEC297455	1	chiavi	-
MEC850636	rottura motore elettrico	1	0,5	10	impossibile stampare	2	1	10	usura	blocco pompa	nessuno	motore	MEC850636	2	chiavi e cacciaviti	blocco pompa
MEC227353	rottura/malfunzionamento riduttore	1	0,05	7	impossibile stampare	2	0,1	7	casuale	-	rumore e surriscaldamento	riduttore	MEC227353	2	chiavi e cacciaviti	-
OLD578159	usura tenute	1	1	1	-	2	2	3	usura	-	perdite iso	guarnizioni	OLD578159	2	chiavi	-
MEC535749	usura	1	0,05	1	-	2	0,1	1	usura	-	-	alberini	MEC535749	2	chiavi	-
MEC297455	perdite materiale	1	1	3	-	1	1	3	usura del premistoppa	-	perdite materiale	pompa	MEC297455	1	chiavi	-
MEC850636	rottura motore elettrico	1	0,5	10	impossibile stampare	2	1	10	usura	blocco pompa	nessuno	motore	MEC850636	2	chiavi e cacciaviti	blocco pompa
MEC227353	rottura/malfunzionamento riduttore	1	0,05	7	impossibile stampare	2	0,1	7	casuale	-	rumore e surriscaldamento	riduttore	MEC227353	2	chiavi e cacciaviti	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indi sp. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sotto ss)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
OLD578159	usura tenute	1	1	1	-	2	2	3	usura	-	perdite iso	guarnizioni	OLD578159	2	chiavi	-
MEC535749	usura	1	0,05	1	-	2	0,1	1	usura	-	-	alberini	MEC535749	2	chiavi	-
MEC297455	perdite materiale	1	1	3	-	1	1	3	usura del premistoppa	-	perdite materiale	pompa	MEC297455	1	chiavi	-
MEC850636	rottura motore elettrico	1	0,5	10	impossibile stampare	2	1	10	usura	blocco pompa	nessuno	motore	MEC850636	2	chiavi e cacciaviti	blocco pompa
MEC227353	rottura/malfunzionamento riduttore	1	0,05	7	impossibile stampare	2	0,1	7	casuale	-	rumore e surriscaldamento	riduttore	MEC227353	2	chiavi e cacciaviti	-
OLD578159	usura tenute	1	1	1	-	2	2	3	usura	-	perdite iso	guarnizioni	OLD578159	2	chiavi	-
MEC535749	usura	1	0,05	1	-	2	0,1	1	usura	-	-	alberini	MEC535749	2	chiavi	-
MEC297455	perdite materiale	1	1	3	-	1	1	3	usura del premistoppa	-	perdite materiale	pompa	MEC297455	1	chiavi	-
MEC850636	rottura motore elettrico	1	0,5	10	impossibile stampare	2	1	10	usura	blocco pompa	nessuno	motore	MEC850636	2	chiavi e cacciaviti	blocco pompa
MEC227353	rottura/malfunzionamento riduttore	1	0,05	7	impossibile stampare	2	0,1	7	casuale	-	rumore e surriscaldamento	riduttore	MEC227353	2	chiavi e cacciaviti	-
OLD578159	usura tenute	1	1	1	-	2	2	3	usura	-	perdite iso	guarnizioni	OLD578159	2	chiavi	-
MEC535749	usura	1	0,05	1	-	2	0,1	1	usura	-	-	alberini	MEC535749	2	chiavi	-
MEC297455	perdite materiale	1	1	3	-	1	1	3	usura del premistoppa	-	perdite materiale	pompa	MEC297455	1	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indi sp. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessari	Segnale sintomo esterno
MEC436429	rottura	1	1	3	cattiva iniezione	1	1	3	rottura	-	-	paletta	MEC436429	1	chiavi	-
OLD162430	rottura	1	0,20	7	-	2	0,4	7	rottura	-	-	pistone	OLD162430	2	chiavi	blocco macchina
OLD899352	usura	2	2	1	-	1	4	3	usura	-	-	guarnizioni interne	OLD899352	1	chiavi	-
ELT581701	perdita olio	1	0,10	3	-	0,5	0,05	3	usura	-	perdite di olio	elettrovalvola / guarnizioni	ELT581701	0,5	chiavi	-
ELT581701	si brucia la bobina	1	0,03	3	-	0,5	0,01	3	evento casuale	-	-	bobina	ELT581701	0,5	chiavi / cacciavite	mancata movimentazione
ELT581701	trafilamento olio interno	1	0,03	3	-	0,5	0,01	3	usura guarnizioni interne	-	movimento irregolare	elettrovalvola	ELT581701	0,5	chiavi	-
ELT662760	ossidazione contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT662760	1	cacciavite	-
ELT995483	ossidazione contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT995483	1	cacciavite	-
ELT668962	ossidazione contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT668962	1	cacciavite	-
ELT520858	ossidazione contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT520858	1	cacciavite	-
ELT507545	ossidazione contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT520858	1	cacciavite	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisp. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale e sintomo esterno
ELT848683	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT848683	1	cacciavite	-
ELT768829	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT768829	1	cacciavite	-
ELT151971	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT151971	1	cacciavite	-
ELT344464	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT344464	1	cacciavite	-
ELT935173	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT935173	1	cacciavite	-
ELT720072	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT720072	1	cacciavite	-
ELT664414	ossidazione e contatto	1	0,05	1	-	0,5	0,03	1	ossidazione	-	l'operazione non è sempre assicurata	contatto elettrico	ELT664414	1	cacciavite	-

Analisi FMECA dei ricambi del robot cardatore.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. p. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT573444	Sostituzione preventiva	1	0,5	10	-	2	1	10	-	blocco macchina	-	pacchetto batteria	ELT573444	2	chiavi	blocco macchina
DIS696163	usura	2	0,10	1	-	2	0,4	1	usura	blocco macchina	-	cavi	DIS696163	2	chiavi	blocco macchina
ELN981518	guasto	1	1	10	impossibile fresare	8	8	50	usura	blocco macchina	-		ELN981518	8		blocco macchina
ELT625970	guasto	1	0,4	10	impossibile fresare	1	0,4	10	usura	-	non risponde ai comandi	tastiera	ELT625970	1		-
ELT472951	guasto	1	0,4	10	impossibile fresare	8	3,2	30	usura	-	surriscaldamento	PLC	ELT472951	8	chiavi	-
ELN335166	guasto scheda	4	1	10	impossibile fresare	8	32	80	usura	-	-	inverter	ELN335166	8	chiavi	-
PNU397162	rottura delle guaine	4	1	1	-	2	8	5	usura	-	-	filtri	PNU397162	2	chiavi	-
ELN372869	rottura scheda	6	0,05	10	-	30	9	50	casuale	blocco macchina	funzionamento ad intermittenza	scheda pc	ELN372869	30	operatori esterni	blocco macchina
ELN254358	rottura	1	0,10	7	impossibile dare comandi	5	0,5	7	casuale	blocco cardatore	risposta intermittente	joystick tastiera	ELN254358	5		non si muove il cardatore
DIS725612	usura	1	0,05	7	impossibile dare comandi	5	0,25	7	casuale	blocco cardatore	nessuna risposta ai comandi	cavi tastiera	DIS725612	5	chiavi	non si muove il cardatore
MEC732084	guasto	4	0,4	10	-	0	0	10	usura	blocco cardatore	surriscaldamento	motori	MEC732084	0	chiavi	blocco macchina

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoassa)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
MEC747391	guasto	4	0,4	10	-	0	0	10	usura	-	rumeore, surriscaldamento	cuscinetti	MEC747391	0	chiavi	-
MEC527386	guasto	4	0,4	10	-	0	0	10	usura	-	perdite olio		MEC527386	0		-
MEC349529	rottura	1	1	10	-	1	1	10	rottura	-	rumorre anomalo	fresino	MEC349529	1	chiavi	blocco del cardatore
MEC436869	piegatura alberino	1	2	10	-	0,5	1	10	piegatura alberino	-	rumorre anomalo	alberino	MEC436869	0,5	chiavi	blocco del cardatore
MEC938089	impastamento / usura	1	3	7	-	0,17	0,5	7	impastamento / usura	-	fresatura più leggera	fresa	MEC938089	0,16666667	chiavi	-
ELT556777	bloccate	4	0,5	10	impossibile e fresare	1	2	30	usura	-	impossibile cardare	elettrovalvole	ELT556777	1	chiavi	-
DIS211529	usura materiale tubi	2	0,07	10	-	1	0,13	10	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS211529	1	chiavi	-
MEC144603	grippati	2	0,4	10	impossibile e fresare	2	1,6	10	usura	-	impossibile cardare	cuscinetti	MEC144603	2	chiavi	-
MEC894087	perdite aria	2	0,5	3	fresatura insufficiente	2	2	9	usura	-	cardatura difettosa	pistoncini	MEC894087	2	chiavi	-
MEC894087	blocco	2	0,5	10	impossibile e fresare	2	2	30	usura	-	impossibile cardare	pistoncini	MEC894087	2	chiavi	-
PNU325455	non aspira	1	1	3	si sporca per polvere di fresatura	1	1	3	rottura tubo per usura	-	povere di cardatura in sovrabbondanze	bocchetta aspirazione	PNU325455	1	chiavi	-
PNU325455	non aspira	1	1	3	-	1	1	3	filtri intasati	-	povere di cardatura in sovrabbondanze	bocchetta aspirazione	PNU325455	1	chiavi	-
PNU974958	ostruzioni	1	1	1	impossibile e fresare	0,5	0,5	1	usura	-	surriscaldamento	filtro	PNU974958	0,5	cutter	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
PNU742279	sporciamento	1	12	1	-	0,33	4	3	sporciamento	-	ingrigimento	filtro	PNU742279	0,333333	cutter	-
DIS737168	usura materiale tubi	2	0,07	10	-	1	0,13	10	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS737168	1	chiavi	-
MEC346881	non aspira	1	1	3	si sporca per polvere di fresatura	1	1	3	rottura pompa	-	povere di cardatura in sovrabbondanze	pompa	MEC346881	1	chiavi	-
MEC630905	rottura da avvolgimento o cuscinetti	1	0,05	1	sporco di polvere su tomaia	3	0,15	1	rottura	blocco aspirazione	eventuale rumore	motore / cuscinetti	MEC630905	3	chiavi	blocco sistema aspirante
DIS436891	usura materiale tubi	1	0,07	10	-	1	0,07	10	usura	-	leggera perdita	tubi	DIS436891	1	chiavi	-

Analisi FMECA dei ricambi dei serbatoi.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale e sintomo esterno
ELT577863	si brucia la resistenza	3	0,05	1	-	1,00	0,15	1	casuale	-	-	resistenza	ELT577863	1	chiavi e cacciaviti	-
ELT961411	rottura	2	1	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Termoregolatore	ELT961411	2	chiavi	-
ELT961411	lettura errata per contatti sporchi	2	1	3	stampaggio o difficoltà	1	2	9	accumulo sporcizia	-	indicazione anomala della temperatura	Termoregolatore	ELT961411	1	chiavi	-
MEC407217	perdita olio diatermico	2	0,4	1	nessuno	2	1,6	1	usura	-	gocce olio visibili	Pompa	MEC407217	2	chiavi	-
OLD514174	usura	1	0,10	1	-	1,5	0,15	1	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD514174	1,5	chiavi e cacciaviti	-
ELT282020	rottura	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	-	Resistenze	ELT282020	2	chiavi e cacciaviti	-
DIS781674	usura / rottura	5	0,05	1	-	0,25	0,06	1	usura / rottura	-	perdite	tubi	DIS781674	0,25	chiavi	-
MEC200542	cuscinetti	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	rumore dai cuscinetti, vibrazioni	Cuscinetti	MEC200542	2	chiavi	-
MEC284998	rottura	1	0,05	1	-	0,50	0,03	1	rottura	-	errati dati di pressione	bulbo	MEC284998	0,5	chiavi	-
ELT803991	lettura errata	1	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	1	10	-	-	indicazione anomala della temperatura	pressostato	ELT803991	2	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Num. del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indis. Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
DIS172044	ostruzione e / rottura con perdita	4	2	2	stampaggio o difficoltà	1	8	10	accumulo sporcizia	-	dose scarsa rispetto ai parametri impostati	Tubi	DIS172044	1	chiavi	-
MEC302608	rottura pala	2	1	1	-	1	2	3	usura	-	-	Pala	MEC302608	1	chiavi e cacciaviti	-
MEC302608	rottura motore elettrico	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Pala	MEC302608	2	chiavi e cacciaviti	-
PNU310351	ostruzione	2	2	3	difetti visivi	3	12	15	accumulo sporcizia	-	dose scarsa rispetto ai parametri impostati	Filtro a rete	PNU310351	3	chiavi e cacciaviti	-
ELT577863	si brucia la resistenza	3	0,05	1	-	1,00	0,15	1	casuale	-	-	resistenza	ELT577863	1	chiavi e cacciaviti	-
ELT961411	rottura	2	1	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Termoregolatore	ELT961411	2	chiavi	-
ELT961411	lettura errata per contatti sporchi	2	1	3	stampaggio o difficoltà	1	2	9	accumulo sporcizia	-	indicazione anomala della temperatura	Termoregolatore	ELT961411	1	chiavi	-
MEC407217	perdita olio diatermico	2	0,4	1	nessuno	2	1,6	1	usura	-	gocce olio visibili	Pompa	MEC407217	2	chiavi	-
OLD514174	usura	1	0,10	1	-	1,5	0,15	1	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD514174	1,5	chiavi e cacciaviti	-
ELT282020	rottura	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	-	Resistenze	ELT282020	2	chiavi e cacciaviti	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
DIS781674	usura / rottura	5	0,05	1	-	0,25	0,06	1	usura / rottura	-	perdite	tubi	DIS781674	0,25	chiavi	-
MEC200542	cuscinetti	4	0,4	10	stampaggi o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	rumore dai cuscinetti, vibrazioni	Cuscinetti	MEC200542	2	chiavi	-
MEC284998	rottura	1	0,05	1	-	0,50	0,03	1	rottura	-	errati dati di pressione	bulbo	MEC284998	0,5	chiavi	-
ELT803991	lettura errata	8	0,5	10	stampaggi o difficoltà	2	8	50	-	-	inidcazione anomala della temperatura	pressostato	ELT803991	2	chiavi	-
DIS172044	ostruzione	4	2	2	stampaggi o difficoltà	1	8	10	accumulo sporcizia	-	dose scarsa rispetto ai parametri impostati	Tubi	DIS172044	1	chiavi	-
MEC302608	rottura pala	2	1	1	-	1	2	3	usura	-	-	Pala	MEC302608	1	chiavi e cacciaviti	-
MEC302608	rottura motore elettrico	4	0,5	10	stampaggi o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Pala	MEC302608	2	chiavi e cacciaviti	-
PNU310351	ostruzione	2	2	3	difetti visivi	3	12	15	accumulo sporcizia	-	dose scarsa rispetto ai parametri impostati	Filtro a rete	PNU310351	3	chiavi e cacciaviti	-
ELT577863	si brucia la resistenza	3	0,05	1	-	1,00	0,15	1	casuale	-	-	resistenza	ELT577863	1	chiavi e cacciaviti	-
ELT961411	rottura	2	1	10	stampaggi o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Termoregolatore	ELT961411	2	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT961411	lettura errata per contatti sporchi	2	1	3	stampaggio o difficoltà	1	2	9	accumulo sporcizia	-	nessuno	Termoregolatore	ELT961411	1	chiavi	-
MEC407217	perdita olio diatermico	2	0,4	1	nessuno	2	1,6	1	usura	-	gocce olio visibili	Pompa	MEC407217	2	chiavi	-
OLD514174	usura	1	0,10	1	-	1,5	0,15	1	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD514174	1,5	chiavi e cacciaviti	-
ELT282020	rottura	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	-	Resistenze	ELT282020	2	chiavi e cacciaviti	-
DIS781674	usura / rottura	5	0,05	1	-	0,25	0,06	1	usura / rottura	-	perdite	tubi	DIS781674	0,25	chiavi	-
MEC200542	cuscinetti	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	rumore dai cuscinetti, vibrazioni	Cuscinetti	MEC200542	2	chiavi	-
MEC284998	rottura	1	0,05	1	-	0,50	0,03	1	rottura	-	errati dati di pressione	bulbo	MEC284998	0,5	chiavi	-
ELT803991	lettura errata	8	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	8	50	-	-	-	pressostato	ELT803991	2	chiavi	-
DIS172044	ostruzione	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	accumulo sporcizia	-	gocce olio visibili	Tubi	DIS172044	2	chiavi	-
MEC302608	rottura pala	2	1	1	-	1	2	3	usura	-	-	Pala	MEC302608	1	chiavi e cacciaviti	-
MEC302608	rottura motore elettrico	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Pala	MEC302608	2	chiavi e cacciaviti	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale e sintomo esterno
PNU310351	ostruzione	4	2	10	stampaggio o difficoltà	2	16	50	accumulo sporcizia	-	nessuno	Filtro a rete	PNU310351	2	chiavi e cacciaviti	-
ELT577863	si brucia la resistenza	3	0,05	1	-	1,00	0,15	1	casuale	-	-	resistenza	ELT577863	1	chiavi e cacciaviti	-
ELT961411	rottura	2	1	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Termoregolatore	ELT961411	2	chiavi	-
ELT961411	lettura errata per contatti sporchi	2	1	3	stampaggio o difficoltà	1	2	9	accumulo sporcizia	-	nessuno	Termoregolatore	ELT961411	1	chiavi	-
MEC407217	perdita olio	2	0,4	1	nessuno	2	1,6	1	usura	-	gocce olio visibili	Pompa	MEC407217	2	chiavi	-
OLD514174	usura	1	0,10	1	-	1,5	0,15	1	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD514174	1,5	chiavi e cacciaviti	-
ELT282020	rottura	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	-	Resistenze	ELT282020	2	chiavi e cacciaviti	-
DIS781674	usura / rottura	5	0,05	1	-	0,25	0,06	1	usura / rottura	-	perdite	tubi	DIS781674	0,25	chiavi	-
MEC200542	cuscinetti	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	rumore dai cuscinetti, vibrazioni	Cuscinetti	MEC200542	2	chiavi	-
MEC284998	rottura	1	0,05	1	-	0,50	0,03	1	rottura	-	errati dati di pressione	bulbo	MEC284998	0,5	chiavi	-
ELT803991	lettura errata	8	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	8	50	-	-	-	pressostato	ELT803991	2	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
DIS172044	ostruzione	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	accumulo sporcizia	-	gocce olio visibili	Tubi	DIS172044	2	chiavi	-
MEC302608	rottura pala	2	1	1	-	1	2	3	usura	-	-	Pala	MEC302608	1	chiavi e cacciaviti	-
MEC302608	rottura motore elettrico	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Pala	MEC302608	2	chiavi e cacciaviti	-
PNU310351	ostruzione	4	2	10	stampaggio o difficoltà	2	16	50	accumulo sporcizia	-	nessuno	Filtro a rete	PNU310351	2	chiavi e cacciaviti	-
ELT577863	si brucia la resistenza	3	0,05	1	-	1	0,15	1	casuale	-	-	resistenza	ELT577863	1	chiavi e cacciaviti	-
ELT961411	rottura	2	1	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Termoregolatore	ELT961411	2	chiavi	-
ELT961411	lettura errata per contatti sporchi	2	1	3	stampaggio o difficoltà	1	2	9	accumulo sporcizia	-	indicazione anomala della temperatura	Termoregolatore	ELT961411	1	chiavi	-
MEC407217	perdita olio diatermico	2	0,4	1	nessuno	2	1,6	1	usura	-	gocce olio visibili	Pompa	MEC407217	2	chiavi	-
OLD514174	usura	1	0,10	1	-	1,5	0,15	1	usura	-	gocce olio visibili	guarnizioni	OLD514174	1,5	chiavi e cacciaviti	-
ELT282020	rottura	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	-	Resistenze	ELT282020	2	chiavi e cacciaviti	-
DIS781674	usura / rottura	5	0,05	1	-	0,25	0,06	1	usura / rottura	-	perdite	tubi	DIS781674	0,25	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
MEC200542	cuscinetti	4	0,4	10	stampaggio o difficoltà	2	3,2	30	usura	-	rumore dai cuscinetti, vibrazioni	Cuscinetti	MEC200542	2	chiavi	-
MEC284998	rottura	1	0,05	1	-	0,50	0,03	1	rottura	-	errati dati di pressione	bulbo	MEC284998	0,5	chiavi	-
ELT803991	lettura errata	8	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	8	50	-	-	-	pressostato	ELT803991	2	chiavi	-
DIS172044	ostruzione	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	accumulo sporcizia	-	gocce olio visibili	Tubi	DIS172044	2	chiavi	-
MEC302608	rottura pala	2	1	1	-	1	2	3	usura	-	-	Pala	MEC302608	1	chiavi e cacciaviti	-
MEC302608	rottura motore elettrico	4	0,5	10	stampaggio o difficoltà	2	4	30	-	-	-	Pala	MEC302608	2	chiavi e cacciaviti	-
PNU310351	ostruzione	4	2	10	stampaggio o difficoltà	2	16	50	accumulo sporcizia	-	nessuno	Filtro a rete	PNU310351	2	chiavi e cacciaviti	-

Analisi FMECA dei ricambi dell'iniettore TPU.

Codice	Tipo di guasto	Analisi di criticità							Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
		Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoas)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
ELT177693	non riscalda	1	0,4	10	10	2	0,8	10	casuale	-	-	resistenza	ELT177693	2	chiavi	-
ELT750718	non riscalda	1	0,4	10	10	2	0,8	10	casuale	-	-	resistenza	ELT750718	2	chiavi	-
ELT223052	non riscalda	1	0,4	10	10	2	0,8	10	casuale	-	-	resistenza	ELT223052	2	chiavi	-
MEC605439	-	1			-	4	0	0	-	-	nessuno		MEC605439	4		-
PNU499509	arresto	3	15	7	stampaggio o difettoso	1	45	56	usura	-	bave, material e non conforme	ventola	PNU499509	1	chiavi	-
MEC380194	rottura otturatore	1	0,1	10	iniezione, scarsa, irregolare	8	0,8	10	usura, sporcizia	-	-	ugello	MEC380194	8	chiavi	mancata iniezione
MEC380194	ostruzione	1	0,1	10	iniezione, scarsa, irregolare	8	0,8	10	usura, sporcizia	-	-	ugello	MEC380194	8	chiavi	mancata iniezione
ELT621613	rottura elettrica	3	1	10	impossibile e stampare	1	3	30	-	-	-	resistenza ugello	ELT621613	1	chiavi	-
ELT804070	si brucia	4	0,5	1	-	1	2	3	casuale	-	-	Termocoppia	ELT804070	1	chiavi	-
MEC579916	finecorsa	1	0,5	10	impossibile e stampare	1	0,5	10	usura	-	nessuno		MEC579916	1		-
OLD332233	perdite	1	1	1	-	3	3	3	usura	-	gocce	pistone	OLD332233	3	chiavi	mancata iniezione
LBR540924	perdite	1	2	1	-	0,17	0,33	1	perdite	-	-	olio	LBR540924	0,1666667	imbuto	-
MEC586680	rottura giunti	1	0,5	10	iniezione, scarsa, irregolare	5	2,5	30	usura	-	-	giunti	MEC586680	5	chiavi	-
DIS622096	perdite olio idraulico, crepature	8	15	10	-	2	240	100	usura	-	-	tubi	DIS622096	2	chiavi	-

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numero del comp	Frequenza prevista	Effetto sull'impianto	Effetto sul prodotto	Durata fermata	Indisponibilità Ore / anno	Indice di criticità	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoassemblaggi)	Sintomi premonitori	Parte sostituibile	Codice part sost	Durata intervento	Attrezzatura necessaria	Segnale sintomo esterno
DIS622096	scoppio	8	15	10	-	2	240	100	usura	-	-	tubi	DIS622096	2	chiavi	-
MEC440333	riduzione portata	8	0,5	10	-		0	10	usura	-	-	valvole	MEC440333	0	chiavi	-
OLD955225	usura	8	1	1	-	1	8	5	usura	-	-	Guarnizioni	OLD955225	1	chiavi	-
LBR953558	perdite	1	2	1	-	0,17	0,33	1	perdite	-	-	olio	LBR953558	0,16666667	imbuto	segna livello blocca macchina
MEC539247	perdita di filtraggio	1	2	1	-	1	1,5	1	sporczia	-	-	filtro	MEC539247	1	chiavi	-
MEC108198	rottura motore	1	0,05	7	-	1	0,05	7	rottura	blocco macchina	-	motore	MEC108198	1	chiavi	blocco aspirazione
DIS861213	usura tubi	1	0,01	1	-	1	0,01	1	usura	-	-	tubi	DIS861213	1	chiavi	-
MEC484567	rottura	1	0,25	3	-	1	0,25	3	usura	-	-	paletta	MEC484567	1	chiavi	-
MEC101645	rottura	1	0,01	1	-	1	0,01	1	casuale	blocco macchina	-	Pompa	MEC101645	1	chiavi	blocco essicatore
MEC121260	-	1			-		0	0	-	-	-		MEC121260	0		-
ELT834571	interruzione	1	0,1	3	difetti visivi	2	0,2	3	usura	-	-	Resistenze	ELT834571	2	chiavi	-
ELT504780		1	0,1	3	difetti visivi	1	0,1	3	-	-	-	Termostati	ELT504780	1	chiavi	-
PNU652056	intasamento	1	1	3	-	9	9	15	accumulo sporczia	-	nessuno	Filtri	PNU652056	9	chiavi	-
DIS211786	-	1	0,4	3	-	1	0,4	3	-	-	-	Tubi	DIS211786	1	chiavi	-
PNU314382	rottura	1	0,25	1	-	1	0,25	1	sporczia	-	-	Ventilatore	PNU314382	1	chiavi	-
MEC224240	rottura del motore elettrico	2	0,5	10	-	2	2	30	-	blocco macchina	-	Motore	MEC224240	2	chiavi	blocco essicatore

Analisi FMECA dei ricambi della lampada per il riscaldamento delle soles.

Codice	Analisi di criticità								Manutenzione preventiva			Manutenzione correttiva				
	Tipo di guasto	Numer del comp	Frequenz a prevista	Effetto sull' impiant o	Effetto sul prodott o	Durata fermat a	Indisp . Ore / anno	Indice di criticit à	Causa di guasto (comp)	Causa di guasto (sottoass)	Sintomi premonit ori	Parte sostituibil e	Codice part sost	Durata intervent o	Attrezzatur a necessaria	Segnale sintom o esterno
PNU30179 9	rottura	1	0,10	3	-	1	0,1	3	evento casual e	-	-	pistone	PNU30179 9	1	chiavi	-
ELT303033	si brucia la bobina	1	0,03	3	-	0,5	0,01	3	evento casual e	-	-	bobina	ELT303033	0,5	chiavi / cacciavite	-
ELT763001	si brucia la lampad a	4	0,33	3	-	1	1,33	3	evento casual e	-	-	lampada	ELT763001	1		-

Riferimenti bibliografici

- Furlanetto L., Garetti M., Macchi M. (2006), *Principi generali di gestione della manutenzione*, FrancoAngeli, Milano.
- Furlanetto L., Garetti M., Macchi M. (2007), *Ingegneria della manutenzione. Strategie e metodi*, FrancoAngeli, Milano.
- Furlanetto L., Garetti M., Macchi M. (2011), *Pianificazione, organizzazione e gestione tecnico-economica della manutenzione*, FrancoAngeli, Milano.
- D'Incognito V. (1995), *Progettare il sistema manutenzione*, FrancoAngeli, Milano.
- Manuale qualità Orion*, Manuale interno.
- UNI EN 13306:2003, “Manutenzione – terminologia”, 2003.
- UNI 10147:2003, “Manutenzione – termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni”, 2003.
- UNI 9910:1991, “Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio”, 2003.
- UNI 10224:1993, “Manutenzione. Principi fondamentali della funzione manutenzione.”, 2003.
- Ierace S., *Affidabilità, Manutenibilità e Disponibilità*, presentazione, Università di Bergamo.
- Frosini L., *Affidabilità e disponibilità*, presentazione, Università di Pavia.
- Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D. (2004), *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano.
- Manzini R., Regattieri A. (2005), *Manutenzione dei sistemi di produzione*, Editrice Esculapio, Bologna.
- Furlanetto L. (1998), *Manuale di manutenzione degli impianti industriali e servizi*, FrancoAngeli, Milano.

Siti web

- <https://it.wikipedia.org/wiki/Manutenzione> (ultimo accesso: 06/09/2019)
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Affidabilità> (ultimo accesso: 18/10/2019)
- <https://it.wikipedia.org/wiki/Disponibilità> (ultimo accesso: 18/10/2019)
- <https://it.wikipedia.org/wiki/FMECA> (ultimo accesso: 28/10/2019)
- <https://www.softwaremanutenzione.com/cosa-fa-prometeo> (ultimo accesso: 14/11/2019)