



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

**Implementazione di strategie di
manutenzione predittiva online con
approccio RCM (Reliability Centred
Maintenance) presso uno stabilimento
farmaceutico Pfizer**

**Implementation of online predictive maintenance
strategies on a packaging line with RCM approach
in a Pfizer pharmaceutical plant**

Relatore:

Prof. Ing. Maurizio Bevilacqua:

Tesi di Laurea di:

Annalisa Piunti

Correlatore:

Ing. Davide Piscione

Anno accademico 2019/2020

Alla mia famiglia

INDICE

1 Capitolo: Il ruolo della manutenzione: organizzazione e obiettivi	4
1.1	<i>Definizione di manutenzione</i> 4
1.2	<i>Mission della manutenzione</i> 5
1.3	<i>Il ruolo dell’Ingegneria di Manutenzione</i> 7
1.4	<i>Evoluzione storica dei modelli manutentivi</i> 8
1.4.1	La manutenzione a guasto o correttiva 9
1.4.2	La manutenzione preventiva o programmata 10
1.4.3	La manutenzione predittiva o su condizione 14
1.4.4	La manutenzione migliorativa 18
1.5	<i>Indicatori di performance: parametri RAM</i> 20
1.5.1	Affidabilità 22
1.5.2	Disponibilità 24
1.5.3	Manutenibilità..... 26
1.6	<i>I costi associati alla manutenzione</i> 28
1.7	<i>Criteri di progetto della manutenzione</i> 31
1.7.1	Strategia di scelta delle politiche di manutenzione..... 31
2 Capitolo Reliability Centred Maintenance	37
2.1	<i>L’approccio alla manutenzione basato sul metodo RCM</i> 37
2.2	<i>Fasi del processo</i> 38
2.2.1	Raccolta dei dati 41
2.2.2	Scomposizione del sistema: System Work Breakdown Structure 42
2.2.3	Analisi delle criticità del sistema 43
2.2.4	Albero logico delle decisioni..... 50
2.2.5	Fattibilità economica del piano..... 52

3 Capitolo	Total Productive Maintenance: manutenzione produttiva (TPM).....	54
3.1	<i>Struttura e passi operativi del TPM</i>	54
3.2	<i>I campi d'azione della TPM</i>	56
3.2.1	I pilastri del TPM.....	57
3.2.2	Efficienza totale di impianto (OEE)	60
4 Capitolo	Il contesto di lavoro	64
4.1	<i>La Pfizer</i>	64
4.2	<i>Pfizer Italia</i>	66
4.3	<i>Il sito produttivo Pfizer di Ascoli Piceno</i>	67
4.4	<i>Storia dello stabilimento Pfizer di Ascoli Piceno</i>	67
4.5	<i>La struttura</i>	68
5 Capitolo	Implementazione della Condition Based Maintenance (CBM)	70
5.1	<i>Il Blister</i>	70
5.2	<i>Linea di confezionamento</i>	71
5.3	<i>La Blisteratrice</i>	72
5.4	<i>Scelta della macchina</i>	75
5.5	<i>Installazione dei sensori</i>	77
5.5.1	Motorizzazione principale.....	77
5.5.2	Sistema di traslazione pinze e caricatore blister	78
5.5.3	Stazione di saldatura	80
5.5.4	Trasmissione unità di taglio	82
5.5.5	Sistema di presa e rilascio blister.....	83
5.6	<i>Analisi dei dati</i>	84
5.7	<i>Analisi FMEA</i>	88
6 Capitolo	Conclusioni.....	95

Abstract

In recent years, Maintenance has lived a wide changing of its strategic role within industrial productive contest. It started as a simple cost center before becoming a complex management system which aim is the increase of equipment availability and the improvement of system global efficiency. This has been possible thanks to the role of Maintenance Engineering, a business function that uses analytic methods and a Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) for managing the maintenance activities according to the work conditions of equipment.

The aim of this project is to implement online condition monitoring on some of the critical components of a packaging line in Ascoli Piceno Pfizer plant.

It has been applied the FMEA tool (Failure Modes and Effects Analysis) on the Blister machine (MK33 model) as a tool for ranking and prioritizing the possible causes of failures of components using as reliability ranking index the Risk Priority Number (RPN).

Hereby, vibration analysis has been implemented on the most critical components of the line.

Cost effectiveness of Condition Based Maintenance can be seen in potential savings including reduced maintenance costs, damage limitations and production losses avoided, which should be compared to cost of CBM (set up cost and operation cost) Using condition monitoring to track equipment health and trigger maintenance actions is a proven best practice that results in an improved OEE (Overall Equipment Effectiveness).

Unfortunately, to observe practical results of the plan, a time horizon of medium-long observation would be necessary. For this reason, it is possible to make only an estimate of what we expect to obtain.

Introduzione

Negli ultimi anni la manutenzione degli impianti industriali ha vissuto un profondo cambiamento del suo ruolo all'interno del contesto di lavoro. È passata da essere considerata come un semplice centro di costo che non genera alcun valore aggiunto, ad un complesso sistema gestionale con lo scopo di incrementare la disponibilità degli impianti e di migliorare l'efficienza globale delle macchine. Questo è stato possibile grazie al ruolo rivestito dall'ingegneria di Manutenzione, una funzione aziendale che grazie a adeguati strumenti di analisi e all'adozione dei Sistemi Informativi (Computerized Maintenance Management Systems CMMS) riesce a gestire le attività di manutenzione basandosi sulle effettive condizioni di funzionamento degli impianti.

Il presente lavoro ha per oggetto l'implementazione della manutenzione predittiva online su una linea di confezionamento dello stabilimento farmaceutico Pfizer di Ascoli Piceno.

È stata applicata la FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) su una Blisteratrice Partena (modello MK33) come strumento di analisi per classificare e dare un ordine di priorità alle possibili cause di guasto dei componenti costituenti la macchina. Utilizzando come indice di affidabilità il Risk Priority Number (RPN) è stato possibile identificare gli equipment critici sui cui concentrare l'analisi.

Da qui è poi stato implementato un controllo vibrazionale sui componenti della linea definiti critici.

Sfortunatamente per osservare dei risultati pratici in termini di aumento di OEE e diminuzione di Down Time è necessario un orizzonte temporale medio lungo. Per questo motivo è possibile solamente stimare cosa si aspetta di ottenere.

Nei primi due capitoli ci si è soffermati sui concetti di manutenzione generali e sui principi di gestione delle macchine. Sono inoltre discusse le varie politiche manutentive adottate e l'analisi dei costi associata a ognuna di queste. Vengono introdotte anche le linee guida sulle strategie di scelta delle tipologie manutentive per mezzo di un approccio basato sulla Reliability Centred Maintenance (RCM).

Il terzo capitolo è dedicato alla descrizione della Total Productive Maintenance (TPM), approccio moderno alla manutenzione che mira al raggiungimento della massima efficienza

aziendale. In questo stesso capitolo viene descritto l'indice OEE (Overall Equipment Effectiveness), parametro utilizzato per il controllo delle prestazioni del sistema di produzione.

Il quarto capitolo è dedicato alle nozioni inerenti alla compagnia multinazionale Pfizer e nel dettaglio, allo stabilimento farmaceutico Pfizer di Ascoli Piceno.

Il quinto capitolo è il cuore di tutta la trattazione: vengono descritti il reparto Packaging e la macchina analizzata sulla quale è stato implementato il sistema di controllo vibrazionale. Sono inoltre discussi i motivi che hanno portato all'applicazione di tale strategia manutentiva e infine vengono descritti gli steps di installazione dei sensori, l'analisi dei dati e il monitoraggio delle prestazioni.

1 Capitolo

Il ruolo della manutenzione: organizzazione e obiettivi

1.1 Definizione di manutenzione

Nel contesto industriale, al concetto di utilizzo di un impianto si associa immediatamente quello della sua manutenzione.

L'azione del tempo e l'utilizzo comportano un graduale decadimento dell'efficienza tecnica degli impianti, rispetto alle condizioni ottimali, seguito anche da un'obsolescenza tecnologica.

Per garantire il corretto funzionamento dell'impianto per tutto il suo ciclo di vita, occorre effettuare interventi manutentivi volti ad assicurare che l'evoluzione nel tempo del sistema in esame sia coerente con quanto definito durante la sua progettazione.

La disciplina manutentiva è un'area di studi, ricerche, prassi operative e gestionali di primaria importanza, in un contesto, come quello industriale, nel quale è necessario pianificare le attività per garantire la sicurezza delle persone e la disponibilità degli impianti.

La Commissione Manutenzione dell'UNI, nella norma UNI EN 10336, definisce la manutenzione come:

“la combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, incluse le azioni di supervisione, previste durante il ciclo di vita di un'entità e destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta”. [1]

Queste norme furono sostituite dalla UNI EN 13306, che vede 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”.

La funzione della manutenzione è quindi rivolta allo svolgimento di un servizio a vantaggio della produzione.

La manutenzione, se concepita ed attuata in modo corretto, costituisce una funzione indispensabile per ogni tipo di sistema produttivo, permettendo di:

- minimizzare le fermate per guasti;
- garantire il funzionamento delle macchine nelle condizioni ottimali;
- contribuire ad aumentare l'efficienza del sistema produttivo;
- effettuare le attività con la massima economicità;
- conservare il patrimonio impiantistico industriale per la sua intera vita utile;
- contribuire a garantire la sicurezza delle persone e la tutela ambientale.

1.2 Mission della manutenzione

Di norma alla funzione manutentiva si associa un ruolo esclusivamente tecnico, di mantenimento, servizio e riparazione dei sistemi produttivi.

Come riporta *Albert H.C. Tsang*, con questa concezione aziendale la manutenzione è concepita come un centro di costo, che non porta alcun valore aggiunto alla produzione e deve pertanto essere ridotto. È una visione non coerente con la realtà, poiché la manutenzione ha un ruolo strategico nella progettazione e nella conservazione degli impianti nel corso della loro vita utile.

[2]

Negli ultimi decenni la concezione della manutenzione si è profondamente evoluta e rinnovata, orientandola ad un ruolo sempre più complesso e centrale nel processo produttivo. Si è cioè trasformata, in termini di *mission*, da attività prevalentemente operativa di riparazione e fonte di costi senza valore aggiunto al prodotto finito, ad un complesso sistema gestionale orientato a prevenire i guasti ed al miglioramento continuo.

L'obiettivo della manutenzione è quello di massimizzare la vita utile degli impianti con il minimo costo globale possibile, nel rispetto delle normative ambientali e di sicurezza. In tal

senso, la manutenzione diventa un “investimento strategico” per la competitività dell’impresa, superando la visione, ancor oggi comune, della manutenzione come “spesa inevitabile”.

Far assumere alla manutenzione il carattere di “investimento strategico” richiede però anche di introdurre una serie di elementi organizzativi e gestionali, quali per esempio:

- il coinvolgimento della manutenzione sin dal progetto e dalla selezione dei nuovi impianti, per contribuire, sulla base dell’esperienza acquisita dal loro utilizzo, a migliorarne l’affidabilità e la manutenibilità;
- la scelta delle politiche di manutenzione, ovvero la definizione del giusto mix di manutenzione correttiva, preventiva, su condizione e migliorativa, con l’obiettivo di ottimizzare i costi/benefici nell’utilizzazione degli impianti;
- una cultura organizzativa fortemente orientata al miglioramento continuo delle prestazioni, raggiunto grazie alla conoscenza ed esperienza acquisita durante l’utilizzo degli impianti stessi; a tal riguardo, è emblematica il concetto giapponese: “un impianto nuovo si trova nel suo peggior stato di prestazione”;
- il coinvolgimento di tutte le altre funzioni dell’impresa nella conservazione del patrimonio impiantistico, in particolare con la partecipazione degli operatori di produzione, in accordo alla filosofia del TPM (Total Productive Maintenance);
- una struttura di manutenzione formata da manager sensibilizzati sull’importanza della gestione del patrimonio impiantistico;
- il cambiamento di visione della manutenzione, da “spesa” ad “investimento strategico”, ottenuto assegnando le risorse nell’ottica di una pianificazione a lungo termine nella vita utile dell’impianto e non unicamente fissando un limite di budget annuale

Il compito della manutenzione è quindi quello di “cooperare lungo tutto il ciclo di vita di un’entità, dalla sua progettazione alla sua dismissione, con l’obiettivo di garantire la disponibilità operativa dell’entità stessa ed il contenimento dei costi associati alla sua manutenzione” [3].

1.3 Il ruolo dell'Ingegneria di Manutenzione

Con il termine *Ingegneria di Manutenzione* si intende la funzione che ha il compito di dedurre, dalle analisi quantitative svolte, utilizzando un insieme di tecniche e strumenti *software* che le sono propri, adeguate proposte di miglioramento della manutenzione, sia dal punto di vista tecnico, che gestionale [4].

Il ruolo assunto dall'Ingegneria di Manutenzione è il risultato di un'evoluzione della manutenzione dalle forme puramente reattive verso forme sempre più sofisticate, in cui convergono concetti e metodi tipici dell'ingegneria per ottenere risultati sempre migliori in termini di sicurezza, efficienza, efficacia e costi.

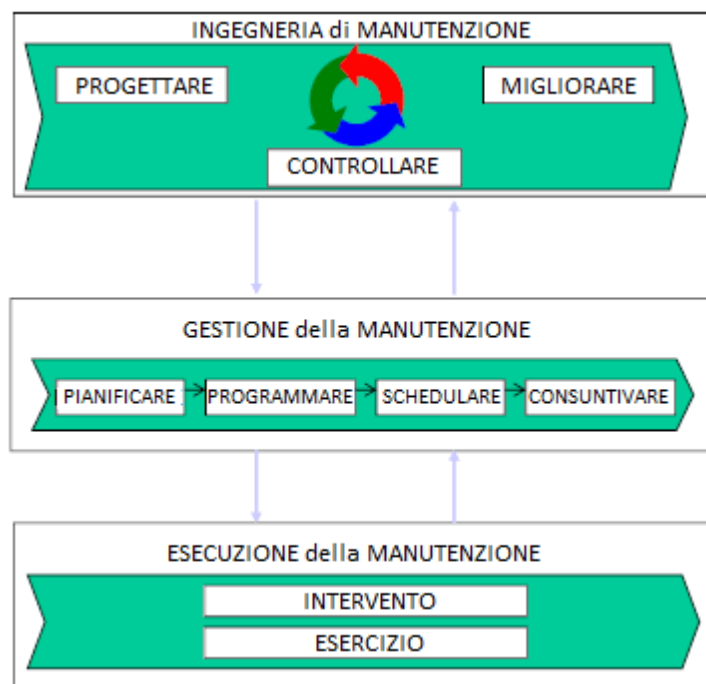


Figura 1.1 Processi della manutenzione

La *Figura 1.1* permette di schematizzare la posizione organizzativa ed il ruolo dell'Ingegneria di Manutenzione. In essa si identificano, partendo dal basso, i tre principali macro-processi organizzativi della manutenzione:

Il processo di *Esecuzione della Manutenzione* riceve gli ordini operativi dal processo di *Gestione della Manutenzione* e riporta ad esso lo stato di avanzamento degli stessi, oltre a tutte le informazioni sugli interventi preventivi o a guasto;

Il processo di *Gestione della Manutenzione* genera un report delle attività che riguardano l'organizzazione degli interventi, dalla fase di pianificazione alla loro consuntivazione, e lo invia alla funzione di *Ingegneria di Manutenzione*;

Infine, il processo di *Ingegneria di Manutenzione*, utilizzando un insieme di tecniche e strumenti di supporto, ha il compito di dedurre dall'analisi dei dati ricevuti, adeguate proposte di miglioramento delle attività manutentive, dal punto di vista tecnico e gestionale. Le deduzioni ed i piani realizzati dall'*Ingegneria di Manutenzione* vengono quindi trasferiti come input alla *Gestione della Manutenzione*, che ha il compito di prepararne la messa in pratica.

Tra le varie attività svolte dall'*Ingegneria di Manutenzione*, le principali sono:

- progettare e promuovere le politiche e le strategie manutentive più adeguate al contesto specifico, analizzando l'applicazione dei diversi modelli ed individuando il loro mix ottimale, cioè al minimo costo totale
- pianificare interventi per il miglioramento dei parametri di affidabilità e disponibilità del sistema, quest'ultimo inteso come insieme di elementi che si comportano come un'entità che si propone la realizzazione di alcune funzioni o servizi;
- promuovere il miglioramento continuo delle prestazioni tecniche dei sistemi e dei costi di manutenzione;
- gestire le parti di ricambio;
- sviluppare e diffondere i Sistemi Informativi di Manutenzione;
- costituire il riferimento culturale di tutta l'organizzazione manutentiva.

1.4 **Evoluzione storica dei modelli manutentivi**

Le tecniche manutentive sono profondamente cambiate nel tempo, passando da attività prevalentemente operative e di riparazione del guasto ad un complesso sistema gestionale orientato, più che altro, alla prevenzione del guasto.

L'attività manutentiva si sviluppa, già da tempo, in tre diverse direzioni, contemperando altrettante categorie di interventi:

- interventi che sono realizzati solo dopo che il guasto si è presentato (manutenzione non programmata);
- interventi che scaturiscono da un logico e predeterminato piano programmato (manutenzione programmata);
- interventi incentrati sul tentativo di dare luogo ad un processo di miglioramento continuo nella gestione di queste problematiche (manutenzione migliorativa), a partire dalle procedure operative fino alla ridefinizione progressiva delle situazioni critiche, basandosi sull'esperienza acquisita.

1.4.1 La manutenzione a guasto o correttiva

La manutenzione correttiva, o a guasto, viene eseguita “a seguito di un’avarìa ed è volta a riportare un’entità nello stato in cui possa eseguire la funzione richiesta” (UNI 10147). [5]

Questo tipo di manutenzione risponde quindi all’esigenza di riparare le macchine per allungare la loro vita utile produttiva: si tratta di una politica di manutenzione semplice, del tipo Run-to-Failure Maintenance: si interviene solo dopo il manifestarsi del guasto.

Questo modo di affrontare il tema della manutenzione prevede di lasciare la macchina in esercizio fintanto che il manifestarsi o il progredire di un’anomalia costringa l’operatore a fermare la macchina. Tale strategia presenta degli aspetti contrastanti: il fattore positivo è rappresentato da un costo di manutenzione e di fermo macchina pressoché nullo fintanto che la macchina è in funzione.

Una strategia correttiva, che rappresenta l’approccio più tradizionale della manutenzione, conserva una sua validità qualora le tipologie di guasto siano facilmente riparabili a basso costo e si operi in un contesto produttivo in cui il fermo macchina non comporta gravi danni al ciclo produttivo generale. È il caso delle avarie a macchine singole, facenti parte di un gruppo di unità intercambiabili, il cui ruolo nel processo produttivo può essere facilmente ricoperto da una macchina gemella.

In sostanza, questa strategia è efficace per sistemi non critici quando è conveniente aspettare l’insorgere del guasto prima di intervenire, poiché la riduzione dei tempi di fermata e l’aumento della disponibilità, ottenibili con altre modalità di manutenzione, non sono tali da giustificare il maggior onere derivante dall’adozione di una strategia più sofisticata.

I vantaggi di tale tipologia manutentiva sono quindi:

- bassi costi se correttamente applicata;
- non sono richieste strutture organizzative e pianificazioni particolarmente complesse.

Gli svantaggi sono:

- i fermi macchina si presentano in maniera casuale e a volte nel momento meno opportuno con conseguenti problemi derivati di sicurezza, interruzione di servizio e quindi di mancanza di produzione;
- un guasto grave ed inaspettato su un componente può avere conseguenze deleterie su altri elementi del sistema, compromettendone la funzionalità con un aggravio consistente dei costi;
- non permette l'utilizzo ottimale delle squadre di manutenzione, spesso inutilizzate in attesa del verificarsi di guasti;
- magazzino dei ricambi sovradimensionato per rispondere alla necessità di proteggersi dall'accidentalità di accadimento del guasto.

1.4.2 La manutenzione preventiva o programmata

La manutenzione preventiva è definita come la manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti e volta a ridurre le probabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità.

Rientrano in questa categoria gli interventi eseguiti in base alla convinzione che sia determinabile a priori la vita media di un componente e che si possa anticipare il guasto di un sistema complesso (macchina o linea di produzione), pianificando il momento dell'intervento, in genere di sostituzione, in funzione del tempo di vita attesa del componente stesso.

Questo approccio se applicato in maniera generalizzata, non incide in modo sostanziale sul miglioramento dell'affidabilità e della disponibilità di un impianto. Se il guasto di un componente non è strettamente legato alla sua vita utile, la manutenzione preventiva non giustifica un aumento significativo dell'impiego di risorse umane e di materiali.

La strategia manutentiva basata sulla prevenzione ha un campo di applicazione assai vasto nonostante lo sviluppo di altre tipologie di manutenzione ritenute più evolute e innovative. Si tratta innanzitutto di controlli prescritti dalle leggi o dalle norme di sicurezza, a tali controlli si aggiungono controlli di carattere periodico senza obbligo legale, come:

- la periodica pulizia delle attrezzature per assicurarne il corretto stato di funzionamento e facilitarne l'individuazione delle anomalie;
- la lubrificazione e l'ingrassaggio degli elementi meccanici per evitarne o ritardarne l'usura e ridurre le perdite di energia;
- le visite sistematiche per regolazioni, riavvitamento dei bulloni, piccoli interventi, il controllo di un intero assemblaggio allo scopo di verificare tolleranze ed accoppiamenti, ecc;
- lavori periodici di natura diversa quali la pulizia dei filtri montati su condutture di gas o tubazioni di liquidi, interventi di protezione dalla corrosione, di protezione dal gelo, ecc.

La manutenzione preventiva programmata è caratterizzata da costi piuttosto elevati in quanto, dovendo intervenire con largo anticipo sul guasto, spesso si sostituiscono componenti relativamente nuovi o si effettuano operazioni che potrebbero essere rimandate più in là nel tempo. D'altra parte, questo approccio garantisce magazzini ricambi più snelli in quanto l'ordine del ricambio può essere emesso sulla base del piano di manutenzione garantendo la disponibilità delle parti quando necessarie.

Anche l'organizzazione del lavoro trae benefici dalla programmazione, garantendo una migliore distribuzione degli impegni delle squadre di manutenzione durante l'anno. Questo aspetto dipende anche dai vincoli imposti dal processo, o dal tipo di produzione, realizzati in azienda (ad esempio, nel caso di lavorazione su tre turni, i tempi della manutenzione preventiva dovranno essere sottratti alla produzione, viceversa per cicli produttivi diversi si potranno concentrare le operazioni di preventiva nei momenti di fermata della produzione).

La politica di prevenzione ciclica può essere gestita secondo due modalità di attuazione: a data costante (*Figura 1.2*) o ad età (periodo) costante (*Figura 1.3*).

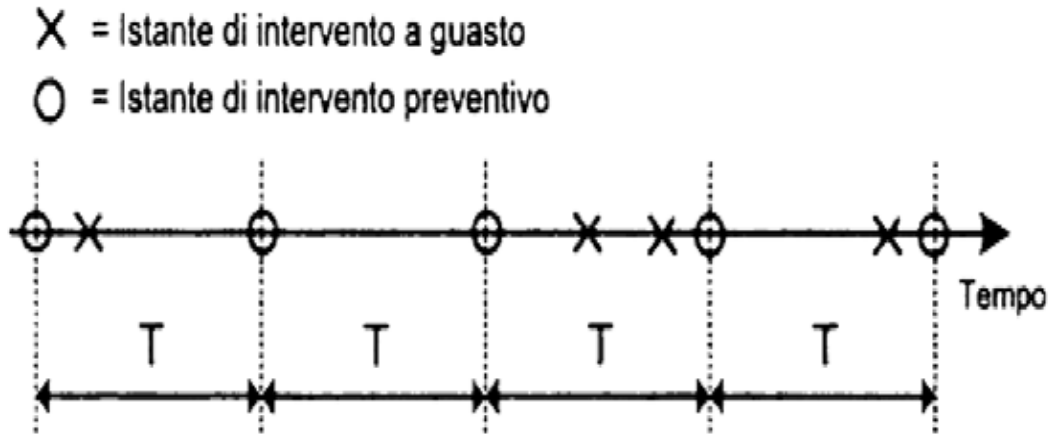


Fig1.2: Manutenzione preventiva a data costante nel tempo a calendario di un'entità

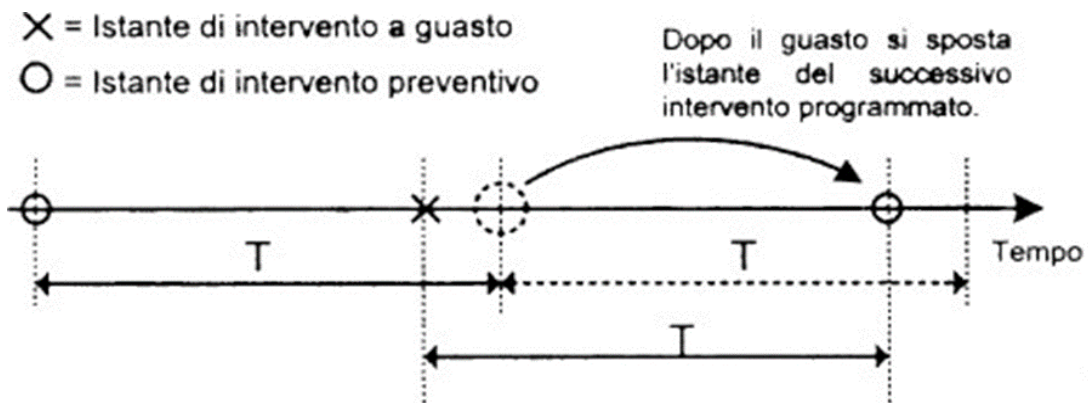


Fig 1.3: Manutenzione preventiva ciclica ad età costante nel tempo a calendario di un'entità

Gli interventi di manutenzione preventiva sono determinati in genere in base allo storico della macchina stessa. La rilevazione del MTBF (Mean Time Between Failure), ovvero il tempo medio tra due guasti macchina successivi, consente di redigere dei calendari di intervento preventivo basati su una determinata probabilità che il guasto non si manifesti nell'arco di tempo che intercorre tra due sostituzioni successive. Appare quindi evidente la necessità di avere un completo e dettagliato archivio di dati storici, al fine di poter calcolare in modo preciso il MTBF e programmare di conseguenza in modo efficiente le operazioni manutentive.

Questa strategia manutentiva negli ultimi anni è stata messa in discussione dall'evidenza che la maggior parte dei guasti ha una probabilità di accadimento casuale e, quindi, la manutenzione a tempi fissati ha una limitata efficacia nell'aumentare la disponibilità dell'impianto. Per tale

motivo, affinché un intervento di manutenzione preventiva possa essere considerato tecnicamente realizzabile, occorre siano verificate le seguenti condizioni:

- deve esistere un momento della vita del componente nel quale si verifica un aumento rilevante della probabilità di guasto causata da segni di usura;
- l'intervento deve ripristinare le originarie condizioni di affidabilità del componente.

Entrambe le politiche di manutenzione ciclica richiedono alcuni prerequisiti organizzativi per assicurare la programmabilità degli interventi:

- la raccolta di statistiche sui guasti che, abbinate alle indicazioni dei costruttori, permettono di determinare i più opportuni intervalli di intervento preventivo;
- è necessario l'uso di un sistema informativo a supporto della programmazione e gestione delle attività di manutenzione, così da calendarizzare e, in seguito, tenere sotto controllo l'esecuzione delle attività cicliche;
- la gestione dei ricambi deve essere coordinata con i piani di manutenzione ciclica;
- il personale deve possedere le competenze tecniche specialistiche per poter eseguire gli interventi preventivi assegnati, ed essere capace di gestire la propria attività, coordinandosi con le altre aree aziendali coinvolte nell'intervento (ad es. il magazzino materiali e la produzione), al fine di predisporre tutte le risorse necessarie per l'intervento, prima di impegnare la macchina con la manutenzione.

Possiamo quindi riassumere i punti di forza di tale metodologia come segue:

- riduzione dei guasti;
- miglior utilizzo delle squadre di manutenzione;
- ottimizzazione delle scorte di materiali;
- riduzione dei costi delle perdite di funzionalità a seguito di guasti accidentali in entità critiche;
- riduzione dei tempi di fermo impianto rispetto alla manutenzione correttiva.

Per contro:

- aumento delle attività e dei costi diretti di manutenzione (programmazione di manutenzioni potenzialmente non necessarie);
- applicabile solo per problemi legati all'invecchiamento degli impianti;
- a volte può indurre essa stessa dei guasti (mortalità infantile).

1.4.3 La manutenzione predittiva o su condizione

Dalle attività preventive programmate, ci si è indirizzati verso una visione più moderna delle problematiche manutentive, che ha condotto all'utilizzo di tecniche non distruttive per testare i sistemi e identificare con anticipo la presenza di guasti, così da poter programmare una revisione solo quando le condizioni della macchina ne determinano la necessità. Quest'approccio, che è definito manutenzione predittiva, è un ulteriore sviluppo ed affinamento della manutenzione preventiva, e prevede la programmazione in tempo reale degli interventi in funzione delle condizioni della macchina e dei requisiti da rispettare, permettendo di evitare lunghi fermi macchina non previsti e contribuendo a migliorare l'affidabilità globale del sistema, per giunta ad un costo contenuto.

La considerazione alla base dell'adozione di questo approccio è che, generalmente, un guasto non si manifesta all'improvviso, ma nella maggioranza dei casi (soprattutto per i sistemi meccanici, idraulici e pneumatici), costituisce solo il punto di arrivo di un deterioramento progressivo.

La manutenzione su condizione viene definita sulla base di parametri decisionali che consentono di capire quali siano le reali condizioni della macchina, attraverso l'esecuzione di misure, ispezioni e controllo che, in genere, non prevedono lo smontaggio dei componenti della macchina. Queste azioni, effettuate ad intervalli regolari definiti per ogni funzione, consentono di rilevare quando le prestazioni di un componente iniziano a degradare e, sulla base di queste informazioni, si può decidere se effettuare l'intervento prima che il guasto si verifichi.

La manutenzione su condizione viene *“effettuata a seguito dell'individuazione e della misurazione di uno o più parametri e dall'estrapolazione, secondo modelli appropriati, del tempo residuo prima del guasto”* (UNI 10147) [5];

Le tecniche di più largo utilizzo sono:

- *monitoraggio visivo*: alla ricerca di eventuali segnali come cricche, difetti e disallineamenti;
- *monitoraggio della rispondenza alle specifiche*: verifica che i parametri di esercizio di un macchinario (temperatura, pressione, velocità...) corrispondano ai valori previsti da progetto;
- *monitoraggio delle vibrazioni e del rumore*.

Questa strategia può essere eseguita online montando degli specifici sensori sul sistema oggetto di studio oppure offline andando a misurare opportuni parametri tramite strumenti portatili ad intervalli di tempo regolari. La manutenzione predittiva online offre un controllo continuo e più affidabile della macchina ma anche più costoso.

La manutenzione su condizione nasce quindi come compromesso tra la manutenzione correttiva e la preventiva programmata, cercando di massimizzare i vantaggi delle due minimizzandone i difetti. Tale approccio manutentivo consiste nella messa a punto di una procedura di diagnosi che permette di monitorare i vari componenti dell'impianto e di identificare anticipatamente gli eventuali stati di guasto senza disturbare le normali operazioni di servizio.

In questo modo, avendo conoscenza delle condizioni operative della macchina, è possibile programmare in anticipo interventi manutentivi, con minimo impatto sulla produzione e limitando gli interventi alle sole macchine che ne hanno realmente bisogno.

Attraverso tale diagnosi la probabilità che si verifichino rotture catastrofiche con conseguente fermata degli impianti, diminuisce fino a tendere a zero (*Figura 1.4*).

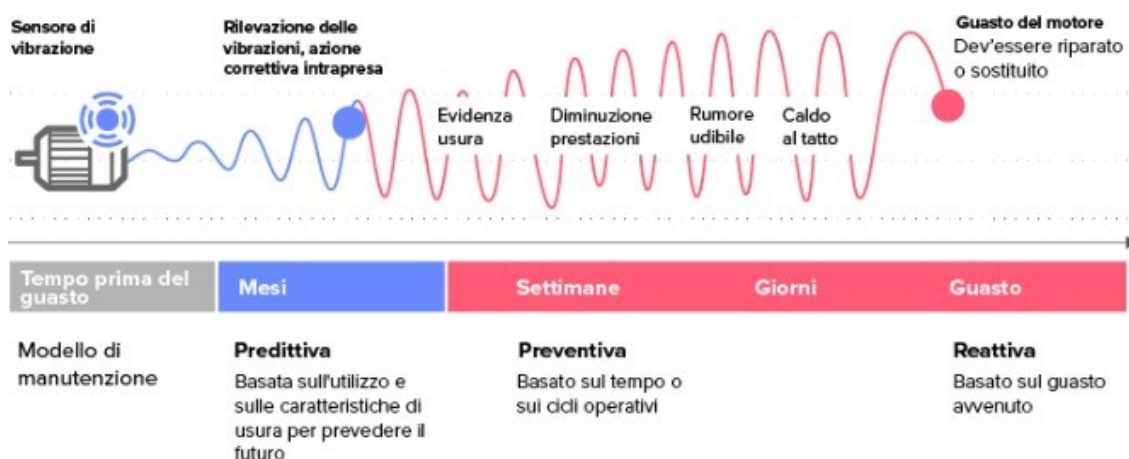


Figura 1.4: relazione tra tempo ed evidenza dell'usura

La manutenzione predittiva non richiede né la fermata degli impianti, né lo smontaggio degli stessi e permette una precoce individuazione oggettiva sia delle anomalie che della loro gravità, fornendo una stima del tempo residuo di funzionamento. Vengono apportati anche dei benefici sui costi diretti in quanto gli interventi vengono pianificati ed effettuati nel normale orario di lavoro, senza ricorrere a personale esterno; i materiali necessari per l'intervento (parti di ricambio) vengono fatti arrivare al momento opportuno, senza inutili e costose giacenze in magazzino.

Gli obiettivi della manutenzione predittiva sono:

- evitare gli smontaggi prescritti dalla manutenzione sistematica, perché costosi ed in grado di costituire un'ulteriore fonte di avaria;
- evitare il guasto, quindi accrescere la sicurezza delle persone e dei beni, riducendo i rischi di incidenti ai lavoratori e di gravi avarie alle macchine ed impianti;
- evitare gli interventi di urgenza, seguendo l'evoluzione nel tempo degli inizi delle anomalie, al fine di intervenire nelle condizioni più favorevoli.

Abbiamo essenzialmente riassunto le seguenti fasi:

- individuazione del sintomo che denuncia il deterioramento dello stato dell'attrezzatura o delle sue condizioni di funzionamento;
- trasmissione di un segnale di allarme corrispondente alla variazione, misurata, di tale stato;
- trattamento e memorizzazione delle informazioni ricevute, in particolare lo scatto di un allarme al di là di una soglia di sicurezza fissata in precedenza;

- diagnosi delle cause e valutazione delle conseguenze della variazione di stato;
- previsione di azioni d'intervento, immediate o differite, a seconda dell'importanza della variazione di stato e della sua evoluzione;

La manutenzione su condizione riguarda in particolare tutti quei componenti per i quali, ad eccezione di un periodo iniziale, non esiste un legame tra l'età ed i guasti.

La messa a punto delle politiche su condizione non è sempre semplice, dal momento che è necessario imparare a conoscere sul campo i segnali di guasto che il componente invia all'utente, e per far questo è necessaria un'attenta e talvolta complessa taratura dei sistemi di monitoraggio. Inoltre, i controlli e le diagnosi accompagnano l'attrezzatura durante tutto il suo relativo periodo di vita.

Anche se dal punto di vista economico la manutenzione predittiva comporterà elevati investimenti dovuti all'acquisto del sistema di diagnosi e all'addestramento del personale, ha tuttavia il vantaggio di ridurre al minimo la probabilità di incorrere nei guasti e garantendo una pianificazione accurata degli interventi delle squadre di manutenzione.

I punti di forza derivanti dall'adozione di tale strategia manutentiva sono quindi:

- aumento della disponibilità dell'impianto;
- migliore gestione del magazzino ricambi, che risulta più snello;
- aumento della vita utile dei componenti riducendo il rischio di rotture accidentali nel caso di controlli periodici di manutenzione preventiva;
- consente di analizzare le cause di guasto;
- miglioramento del controllo della disponibilità e sicurezza dei macchinari;
- benefici di carattere finanziario, in quanto può condurre effettivamente ad un aumento del tempo di utilizzo e ad una diminuzione dei costi di manutenzione;
- conoscendo lo stato di salute delle apparecchiature, l'organizzazione della manutenzione può diventare più efficiente e meno costosa;
- minimizzazione dei costi diretti di riparazione e soprattutto delle rotture improvvise, che sono quelle che provocano i costi più alti (con conseguente aumento della disponibilità dell'impianto).

I punti di debolezza sono:

- presenza di molti dati da gestire ed analizzare;
- molte delle tecniche diagnostiche richiedono attrezzature specialistiche e training con conseguenti costi d'investimento;
- necessità di tecnici specializzati, capaci di interpretare i risultati delle analisi e di gestire i falsi allarmi;
- è necessario un certo periodo di tempo per sviluppare trend, valutare le condizioni delle macchine e individuare le relative soglie di allarme;
- la procedura deve diventare parte integrante della cultura aziendale;
- la comunicazione tra i team deve essere sempre garantita.

1.4.4 La manutenzione migliorativa

Il limite della manutenzione predittiva va individuato nel suo essere orientata al guasto (failure oriented); è più efficace rispetto agli approcci tradizionali, ma lascia ampi spazi di miglioramento in termini di affidabilità e riduzione dei costi. Questa strategia pretenderebbe di fornire all'operatore una segnalazione di allerta come un anticipo sufficiente a permettere di programmare le riparazioni necessarie, minimizzando il downtime. Ciò dipende, naturalmente, dal programma di monitoraggio e dal tempo necessario per ottenere i risultati delle analisi; se si rendono indispensabili analisi più approfondite in presenza di dati controversi, le condizioni di guasto incipiente possono, nel frattempo, trasformarsi e portare il sistema in condizioni ben più preoccupanti di guasto imminente.

Reali benefici si possono conseguire, invece, attraverso un altro tipo di manutenzione "su condizione": la manutenzione migliorativa, ove il termine "migliorativa" si oppone al concetto di reazione, nel senso che si riferisce ad una azione che viene svolta prima dell'evento critico.

Si tratta di un'attività finalizzata a correggere quelle condizioni che possono condurre al deterioramento del sistema. Invece di analizzare l'alterazione del materiale o della performance per valutare l'entità delle condizioni di guasto incipiente o imminente, la manutenzione migliorativa si propone di individuare e correggere valori anomali delle cause prime di guasto,

che potrebbero portare a condizioni d'instabilità operativa. Queste ultime altro non sono che le “radici del guasto” e segnalano il primo livello di malfunzionamento.

Questa pratica manutentiva riesce così a garantire un'alta affidabilità, con elevati tempi di utilizzo per i vari componenti del sistema, incidendo in maniera rilevante sui valori del tasso di guasto e del MTBF del sistema. Si tenga conto che, intervenendo con un anticipo così marcato, si riesce ad evitare sia il degrado funzionale che precede il guasto, sia il verificarsi di molti guasti secondari che potrebbero presentare sugli elementi adiacenti a quello in esame (per esempio a causa delle vibrazioni indotte da quest'ultimo).

Nella fase iniziale l'operatore è chiamato ad un'attività di monitoraggio dei parametri chiave, che permetta di valutare la criticità delle root causes. Tutto ciò richiede una buona familiarità con il sistema in esame da parte del personale addetto alla manutenzione, il quale deve avere una comprensione profonda dei principi operativi e delle caratteristiche per poter individuare correttamente le radici del guasto.

Riassumendo, si può affermare che la manutenzione migliorativa richiede le seguenti azioni:

- monitoraggio dei parametri chiave, indicativi della salute del sistema (cioè le condizioni operative delle cause prime di guasto);
- definizione dei valori soglia, cioè dei valori massimi accettabili per ogni parametro;
- riconoscimento e interpretazione di eventuali valori anomali di questi parametri chiave, che indicano una certa instabilità delle condizioni operative;
- precisazione dei mezzi e dei metodi da applicare per correggere le cause prime di guasto e ripristinare la stabilità del sistema.

Come già fatto per le altre politiche manutentive, andiamo ad analizzare i punti di forza:

- alcune azioni possono essere intraprese con bassi costi ed elevata efficacia;
- problemi ricorrenti possono essere definitivamente rimossi.

I punti di debolezza sono invece:

- le cause primarie dei guasti possono essere di difficile individuazione;
- le azioni di riprogettazione possono essere molto costose, con lunghi periodi di fermo; inoltre, introducendo nuove apparecchiature nasceranno nuove possibilità di guasto;
- i risultati previsti non sono sempre raggiunti;

Riassumendo, il limite della manutenzione predittiva è che pretenderebbe di fornire all'operatore un segnale di allerta con un anticipo sufficiente a permettere di programmare le riparazioni necessarie. Se il servizio di manutenzione non rispondesse in maniera rapida al segnale, le condizioni di guasto incipiente potrebbero presto trasformarsi in quelle di guasto imminente.

Reali benefici, per far fronte a questo problema, si possono conseguire con un altro tipo di manutenzione su condizione: la manutenzione migliorativa, detta anche *Proactive Maintenance*, che si realizza in anticipo rispetto a qualsiasi danno relativo ad un componente o alla prestazione del sistema, con interventi volti ad evitare l'insorgere di quelle condizioni che possono condurre al deterioramento del sistema stesso.

In sostanza, anziché monitorare i parametri che segnalano un guasto potenziale ed aspettare il raggiungimento di una certa soglia d'allarme per pianificare l'intervento, la manutenzione migliorativa si propone di individuare e correggere valori anomali delle 21 cause prime di guasto, dette *radici del guasto*, che potrebbero portare a condizioni di instabilità operativa.

1.5 Indicatori di performance: parametri RAM

Tra gli indicatori di performance più comuni per l'Ingegneria di Manutenzione, vi sono i parametri RAM, dall'inglese *Reliability, Availability e Maintainability*, che misurano lo stato di affidabilità, disponibilità e manutenibilità di un sistema produttivo.

Queste grandezze sono lo strumento attraverso il quale è possibile valutare la continuità con cui una macchina può garantire il raggiungimento della missione per la quale è stata ideata e costruita.

L'**affidabilità** è l'attitudine di un'entità a svolgere una funzione richiesta in date condizioni, durante un intervallo di tempo definito [6].

Il parametro di **manutenibilità** misura invece la attitudine di un'entità, in certe condizioni d'uso, ad essere mantenuta o ripristinata in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta, quando la manutenzione è effettuata in date condizioni e vengono adottate le procedure e le risorse prescritte [6].

Con il termine **disponibilità**, si intende l'attitudine di un'entità ad essere in grado di svolgere una funzione richiesta, in determinate condizioni, in un particolare istante o durante un intervallo di tempo, partendo dal presupposto che siano fornite le risorse esterne necessarie [6].

Una buona pianificazione delle attività da parte dell'Ingegneria di Manutenzione deve garantire un elevato tasso di disponibilità dei macchinari, che si realizza incrementando affidabilità e manutenibilità degli stessi, sostenendo allo stesso tempo il minimo costo totale di manutenzione.

Poiché le macchine si guastano, l'affidabilità e la disponibilità vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate politiche manutentive. Tali scelte, se da un lato contribuiscono a un funzionamento globale regolare e continuativo, dall'altro rappresentano un onere economico spesso non indifferente, in termini di gestione dell'impianto, nella progettazione e riprogettazione di parti oppure nell'installazione di unità di riserva (sistemi ridondanti).

Il **tasso di guasto $\lambda(t)$** rappresenta invece la frequenza con cui le macchine si guastano nel corso della vita utile ed è rappresentato dalla caratteristica curva a “vasca da bagno” (*Figura 1.5*):

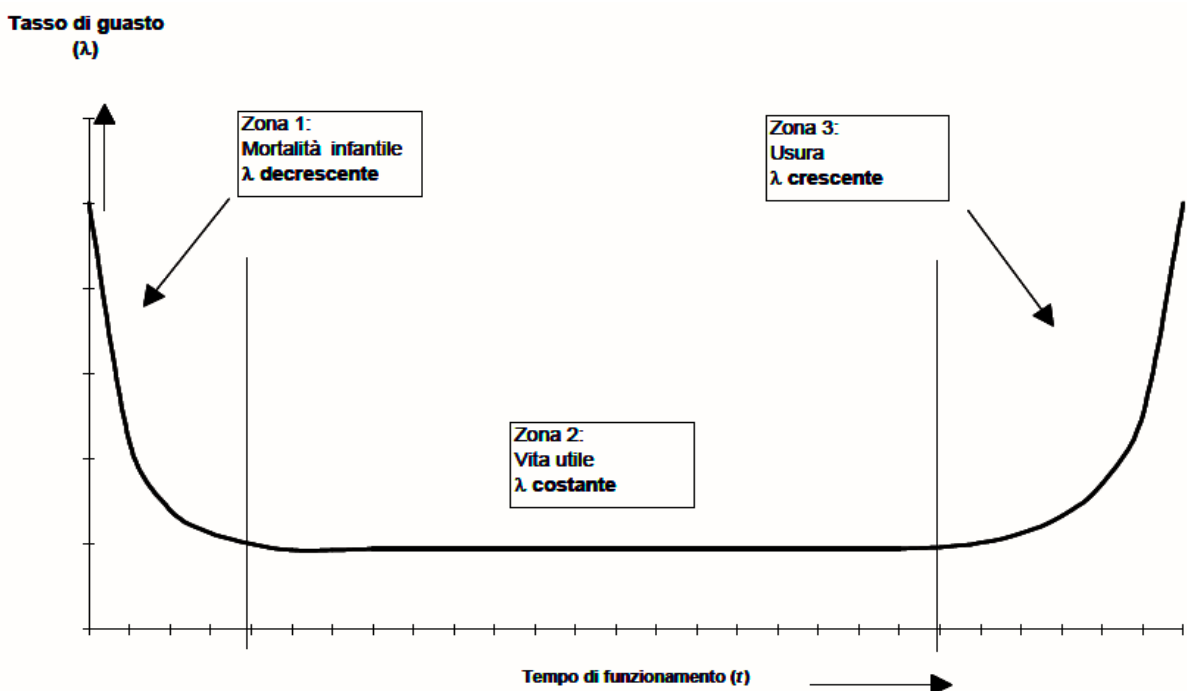


Figura 1.5: Curva rappresentativa dei costi totali in funzione di affidabilità-disponibilità

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

Zona 1: un periodo iniziale in cui la macchina è in rodaggio. I componenti cominciano a svolgere la loro funzione ed alcuni di essi, in genere difettosi, possono cedere in breve tempo. Questo periodo è chiamato di “mortalità infantile” ed è caratterizzato da un $\lambda(t)$ inizialmente elevato che poi cala bruscamente;

Zona 2: un periodo detto di “vita utile” o “mortalità standard” durante il quale la macchina funziona a regime, i componenti sono assestati e gli operatori esperti all’uso. In tale periodo il tasso di guasto $\lambda(t)$ è costante e al minimo;

Zona 3: tale periodo è caratterizzato da fenomeni di usura derivanti dall’intenso utilizzo. Il tasso di guasto $\lambda(t)$ cresce fintanto che la macchina risulta inutilizzabile.

Compito della manutenzione è cercare che il tasso di guasto istantaneo rimanga il più costante possibile durante il ciclo di vita dell’apparato. L’effetto del tasso di guasto dell’assestamento iniziale dei componenti è in generale tanto più ridotto quanto migliori ed accurate sono la progettazione e l’installazione della macchina e il livello di addestramento degli operatori, mentre l’effetto dell’usura è facilmente rilevabile a causa della tendenza alla rapida crescita del numero di guasti in un determinato periodo di tempo.

1.5.1 Affidabilità

Lo studio dell’affidabilità si applica in generale a meccanismi che, nel corso della vita utile, non possono essere tecnicamente ed economicamente riparati.

Nell’ambito di dispositivi non riparabili, si può definire:

Il **MTTF: Mean Time To Failure**: tempo medio al guasto, cioè quel tempo in cui il 50% dei componenti testati ha cessato di svolgere la sua missione;

Si è quindi visto come l’affidabilità di un componente non riparabile sia la sua probabilità di buon funzionamento all’interno di un certo intervallo di tempo di utilizzo. In un’ottica manutentiva conoscere l’affidabilità consente di intervenire prima che si verifichi il guasto.

L’affidabilità può essere espressa con una legge esponenziale negativa illustrata in *Figura 1.6*

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

Riprendendo il concetto di tasso di guasto $\lambda(t)$ e analizzando la curva di mortalità a vasca da bagno la zona di maggiore interesse per quanto riguarda le considerazioni sull'affidabilità è la Zona 2 poiché in tale zona supponiamo $\lambda(t)$ costante.

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

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda}$$

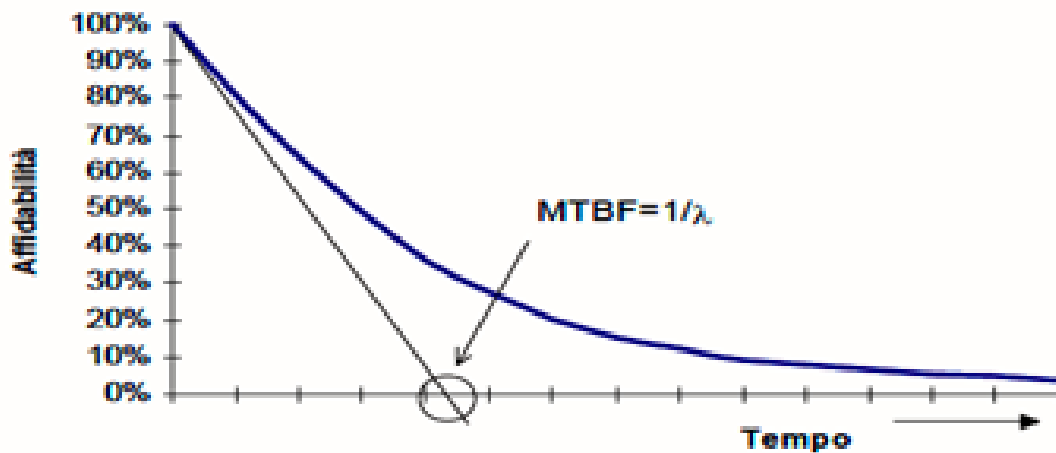


Figura 1.6: Affidabilità con legge esponenziale negativa

Tale relazione risulta importante in quanto un parametro tipicamente analitico e progettuale quale $\lambda(t)$ è correlato direttamente con un parametro operativo come il MTBF. La costanza di λ implica infatti un valore medio dell'intervallo di tempo tra due guasti anch'esso costante, con la diretta conseguenza che è possibile stimare con una certa precisione il momento in cui la macchina si guasterà in futuro.

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

Nel caso di valutazioni in cui siano interessate macchine diverse che si utilizzano contemporaneamente, ognuna delle quali caratterizzata da propri livelli di affidabilità, si deve esaminare la situazione sotto legami analitici.

La relazione che esprime l'affidabilità di un sistema composto è:

$$R_{sistema} = f(R_i); i = 1 \dots n$$

In cui R_i rappresenta l'affidabilità dell' i -esimo componente nel sistema composto.

La dipendenza di $R_{\text{ sistema}}$ dalle R_i dipende sostanzialmente dalla configurazione e dalla natura del sistema.

In conclusione, per applicare in maniera corretta l'affidabilità al mondo operativo bisogna:

- definire un criterio univoco ed oggettivo per riconoscere uno stato di guasto;
- determinare le condizioni ambientali in cui la macchina dovrà operare.
- studiare inizialmente l'andamento dei guasti in modo tale da ricavare il tasso di guasto $\lambda(t)$ del sistema considerato
- determinare l'intervallo di tempo Δt (MTBF) entro il quale la macchina o l'elemento considerato funziona correttamente portando a termine la sua missione;

1.5.2 Disponibilità

Considerando la possibilità di ripristinare la funzionalità di un qualunque dispositivo, in particolare per quei dispositivi a cui è richiesto un notevole numero di cicli del tipo rottura-riparazione-ripristino anche più volte nel corso della vita utile, si ricorre spesso alla valutazione della disponibilità.

La norma UNI 9910 definisce la disponibilità come *“attitudine di una entità a essere in grado di svolgere una funzione richiesta in determinate condizioni a un dato istante, o durante un dato intervallo di tempo, supponendo che siano assicurati i mezzi esterni eventualmente necessari”*. [7]

Definiamo:

$$A = \frac{UT}{UT + DT}$$

Dall'inglese *Availability* (A), definita come la percentuale di tempo di buon funzionamento rispetto al tempo totale in cui è richiesto il funzionamento stesso della macchina, dove:

- Up Time (UT): il tempo in cui il sistema è realmente disponibile;
- Down Time (DT): il tempo in cui la macchina è ferma.

Poiché per sistemi riparabili si può parlare di tempo medio fra due guasti, definiamo:

MTBF: Mean Time Between Failures: tempo medio fra due guasti;

MTTR: Mean Time To Repair: tempo medio di ripristino funzionalità.

Possiamo quindi riscrivere la disponibilità come:

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

A parità di tempo medio fra due rotture (MTBF), un componente è più disponibile di un altro con MTTR più elevato; analogamente la disponibilità di due sistemi con simile tempo di riparazione, cresce al crescere dell'MTBF cioè della sua affidabilità all'interno del periodo di funzionamento richiesto (*Figura 1.7*).

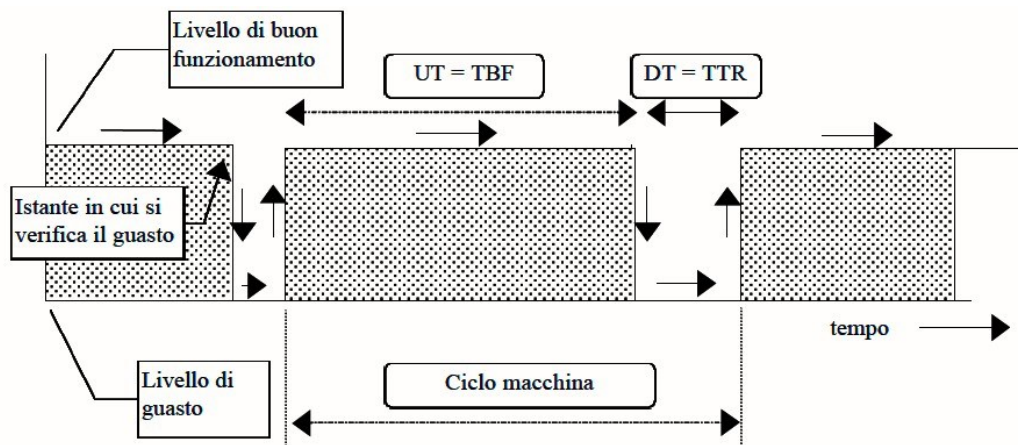


Figura 1.7: Disponibilità in funzione del MTBF e MTTR

Nel caso di sistemi riparabili il MTTF coincide con il MTBF definito precedentemente come l'inverso del tasso di guasto, l'obiettivo è quindi quello di abbassare il tasso di guasto e di conseguenza aumentare l'affidabilità e la disponibilità.

Per ottemperare a quanto appena detto si ricorre in genere a metodi preventivi, cioè a una politica manutentiva che si basa su operazioni eseguite a intervalli di tempo programmati allo scopo di assicurare l'affidabilità e la disponibilità richieste prevenendo e contrastando il verificarsi del guasto.

1.5.3 Manutenibilità

La norma UNI 9910 definisce la manutenibilità come “l’attitudine di una entità (macchina o impianto), in assegnate condizioni di utilizzazione, a essere mantenuta o riportata in uno stato nel quale essa può svolgere la funzione richiesta, quando la manutenzione è eseguita nelle condizioni date, con procedure e mezzi prescritti”. [7]

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

Esiste una relazione tra il MTTR, tempo medio di riparazione (inteso come ritorno al servizio), che rappresenta in sintesi la manutenibilità della macchina, e la funzione affidabilità.

Poiché si è visto che:

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

allora il MTTR dipende anche dal parametro di disponibilità A.

Definito un certo valore di affidabilità (caratteristica progettuale) e valutata la disponibilità operativa storica A come il rapporto tra il tempo di buon funzionamento e il tempo totale di utilizzo (guasti compresi), si ottiene un valore di manutenibilità che può essere comparato con altri rilevati su macchine o impianti della stessa tipologia. Definita ad esempio “normale” una disponibilità del componente o dell’impianto pari al 95% e noti storicamente i tempi di intervento per un guasto (MTTR) è possibile risalire alla sua affidabilità per scopi di riprogettazione e miglioramento delle caratteristiche.

Qualitativamente, si può vedere la relazione tra grandezze in un grafico (vedi *Figura 1.8*).

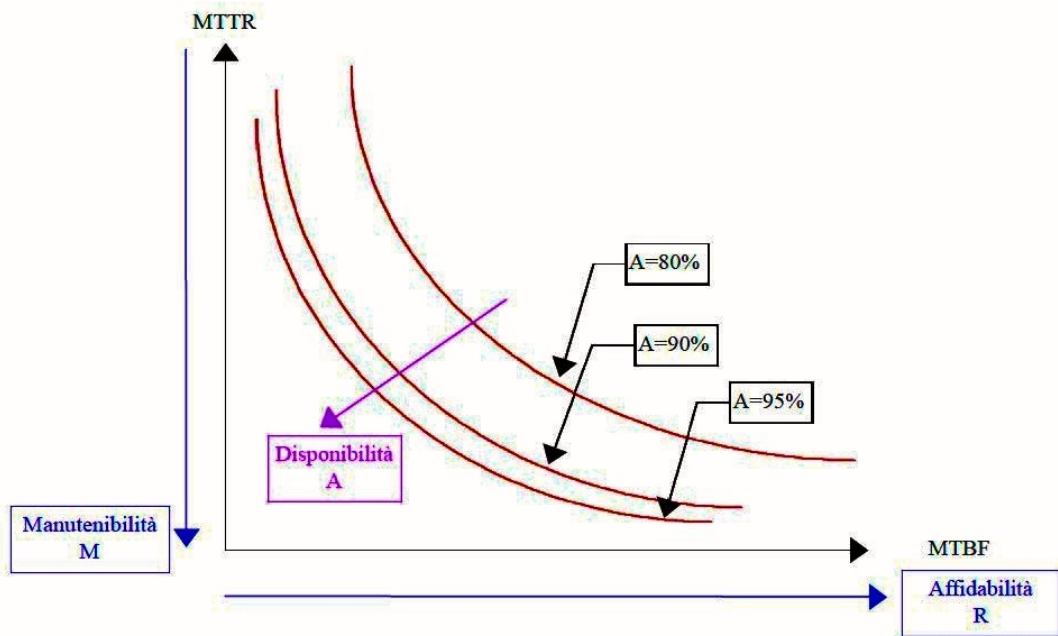


Figura 1.8: Relazione tra le grandezze Affidabilità(R), MTBF, MTRR, Manutenibilità (M) e Disponibilità (A)

Riportando su un grafico in funzione del tempo questi parametri (*Figura 1.9*) è possibile vedere che quando si tratta di sistemi riparabili, il tempo di funzionamento MTTF è dato dalla differenza tra il MTBF e il MTTR:

$$MTTF = MTBF - MTTR$$

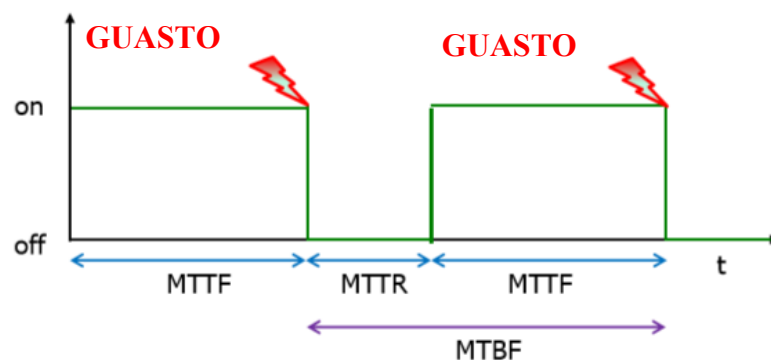


Figura 1.9: Rappresentazione dei KPI di affidabilità e disponibilità nel tempo

1.6 I costi associati alla manutenzione

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

Il più delle volte, la maggior criticità non è dovuta tanto all'incidenza economica dei costi propri di manutenzione (i costi direttamente imputabili all'attività di manutenzione), quanto ai costi indotti dalla non funzionalità di entità, che comporta una serie di conseguenze dal punto di vista della sicurezza, del mancato servizio, della perdita di produzione e della compromissione del patrimonio impiantistico. La manutenzione non deve essere vista unicamente come un sistema recante un costo per l'azienda, ma anche come una fonte di valore, in quanto offre la possibilità di risparmiare sui costi derivanti da eventuali guasti, e come fattore d'incremento delle opportunità di profitto conseguenti ad un miglior funzionamento dell'entità.

La *Figura 1.10* mostra la struttura complessiva dei costi di manutenzione ordinaria che possiamo suddividere in costi propri e costi indotti.



Fig. 1.10: Struttura dei costi di manutenzione

I costi propri possono essere suddivisi in costi diretti e indiretti.

A loro volta i costi diretti si suddividono in;

- Costi di manodopera interna;
- Costi di manodopera esterna (prestazioni di terzi);
- Costi di materiali e parti di ricambio.

I costi indiretti sono suddivisibili invece in:

- Costi della struttura di manutenzione (costi della manodopera indiretta di manutenzione, come ad esempio costo dei capi officina, dei capi squadra, del personale d'ingegneria di manutenzione, del gestore del magazzino materiali);
- Costi dei servizi tecnici e attrezzature di funzionamento (comprendono i costi annui delle attrezzature, del materiale d'esercizio generale, del materiale ausiliario e dei servizi tecnici necessari per lo svolgimento delle attività di manutenzione);
- Costi d'immobilizzo dei materiali di ricambio e dei materiali di consumo diretto (costi d'immobilizzo a magazzino dei materiali di manutenzione);
- Costi dei servizi ausiliari (sistema informativo di manutenzione) impiegati nella manutenzione.

I costi indotti, invece, nascono come conseguenza dell'interruzione del servizio/funzione dell'entità. Tale evento può avere due diverse origini: il guasto (interruzione casuale ed estemporanea del servizio) o il fermo intenzionale per effettuare interventi di manutenzione.

Tali costi sono associabili ai seguenti motivi:

- Mancata produzione a causa della ridotta disponibilità degli impianti;
- Mancata qualità (ad esempio scarti di prodotto a causa della riduzione della capacità del processo);
- Inefficienza del servizio (riduzione dei livelli di servizio, lunghi tempi di consegna di un prodotto, a causa di ritardi nell'esecuzione dei piani di produzione);
- Allungamento dei tempi di manutenzione, in quanto gli interventi a guasto, per la loro natura non previsti, richiedono tempi "amministrativi" più lunghi;
- Degrado degli impianti: la loro cattiva conservazione porta a rotture frequenti e riduzioni della capacità del processo;
- Mantenimento a scorta dei ricambi: il livello dei magazzini, se si adotta una politica di attesa del guasto, è sempre alto. Solo con una politica preventiva è possibile ridurre il livello medio di giacenza e ottimizzare la composizione del magazzino.

In linea generale, il complesso dei costi propri diretti si ripartisce secondo le seguenti percentuali;

Il 30% della spesa è costituita da materiali ausiliari e parti di ricambio;

Il restante 70% è dovuto alla spesa in manodopera (50% terzi e 50% aziendale, anche se esistono realtà in cui la manodopera è al 100% esterna (settore petrolifero) o 100% interna (settore manifatturiero)).

L'incidenza dei materiali ha una forte variabilità. Valori bassi d'incidenza dei costi dei materiali possono essere indice d'inefficienza della manodopera e/o eccesso di riparazione e ricostruzione dei componenti sostituibili. Al contrario valori significativamente alti dell'incidenza dei materiali sono indice di efficienza della manodopera superiore alla media e/o eccesso di sostituzione di componenti che possono essere riparati.

Un provvedimento efficace, volto alla diminuzione dei costi di manutenzione, si basa sull'adozione di componenti caratterizzati da un'elevata affidabilità e sulla terziarizzazione di alcune attività manutentive.

In *Figura 1.11* sono riportate le curve di costi propri, di quelli indotti e di quelli totali, dati dalla somma dei primi due. Obiettivo della manutenzione è minimizzare i costi totali.

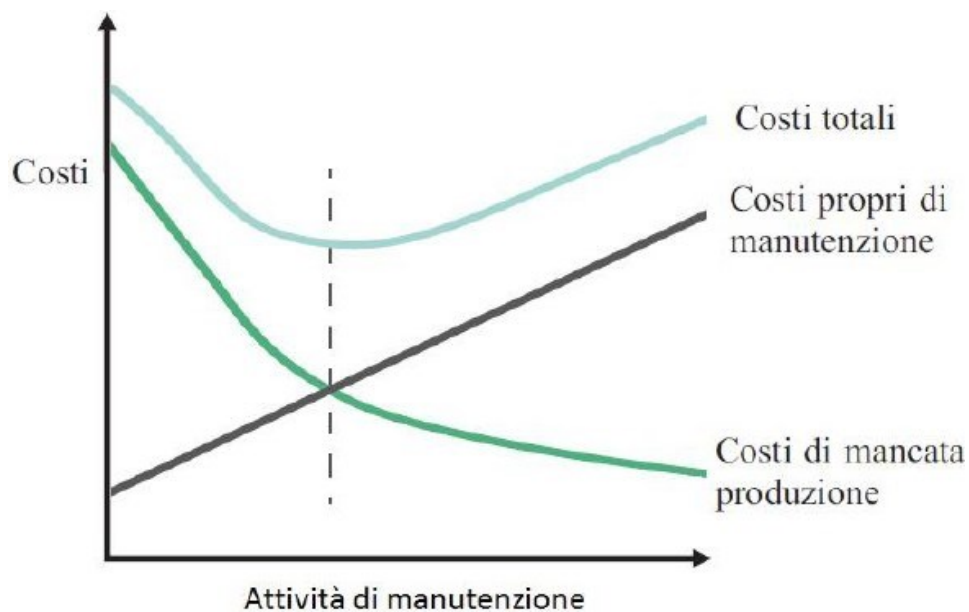


Figura 1.11: Costo totale di manutenzione

1.7 Criteri di progetto della manutenzione

Il progetto delle strategie manutentive per un sistema produttivo richiede che si possieda una conoscenza adeguata dei beni da mantenere e del loro funzionamento.

Definire un piano di manutenzione vuol dire non solo determinare le attività e la frequenza con la quale devono essere eseguite, ma, cosa ancora più importante, individuare le esigenze manutentive per ogni *asset* produttivo, per stabilire il mix ottimale di strategie che garantisca il corretto funzionamento del sistema ed elevata affidabilità.

Per progettare correttamente la politica di manutenzione occorre valutare diversi aspetti, sia quelli che incidono sulle prestazioni affidabilistiche, sia su quelli economici.

Analizzare la scelta delle attività manutentive in base all'affidabilità, significa valutare quali strategie siano potenzialmente applicabili in funzione della fase del ciclo di vita operativa in cui si trova l'entità oggetto di manutenzione; ciò vuol dire, ad esempio, procedere con controlli periodici al mantenimento di un bene che non ha esaurito la propria vita operativa, mentre potrebbe essere conveniente provvedere alla sua sostituzione se è vicino al termine della sua vita utile;

I criteri principali da considerare sono:

- valutazione economica: se da un punto di vista affidabilistico sono definibili i modelli di manutenzione in funzione dell'età operativa del bene, la loro valutazione economica permette di individuare la politica migliore, per ottenere il minor costo totale di manutenzione;
- valutazione tecnica: a volte, la prestazione che si persegue è di tipo tecnico, anziché economico. Ad esempio, se si desidera ottenere la massima capacità produttiva o continuità di servizio, l'obiettivo è la massima disponibilità operativa, anche se questa condizione può non generare il minimo costo totale di manutenzione.

1.7.1 Strategia di scelta delle politiche di manutenzione

La scelta delle politiche di manutenzione è orientata alla definizione del Piano di Manutenzione Produttiva, il quale si pone come obiettivo la determinazione del giusto mix di politiche di manutenzione da assegnare a ciascun'entità e la migliore ripartizione delle risorse manutentive (risorse umane, tecnologiche ed economiche). In generale quando si acquista un nuovo

impianto, di solito il fornitore consegna il manuale di manutenzione, ma all'inizio non ha molto senso fare manutenzione preventiva.

La prima e fondamentale cosa da fare su un nuovo impianto è la raccolta dei dati: tale fase è molto delicata, in quanto è la base su cui poi si svilupperà la scelta della politica di manutenzione da adottare e la progettazione del piano di manutenzione produttiva.

È necessario quindi disporre di un software per la raccolta e l'elaborazione dei dati e la successiva sintesi di informazioni utili e necessarie per prendere ogni tipo di decisione. In generale le industrie dispongono di sistemi informatici per la gestione della manutenzione, i CMMS (Computer Maintenance Management System). I CMMS sono applicazioni software che supportano il sistema informativo per la gestione della manutenzione, spesso integrata con l'Enterprise Resources Planning (ERP) aziendale.

Una volta raccolti i dati relativi ai guasti ed individuati i componenti critici, si va ad analizzare e, se possibile, si interviene per prevenire il difetto evitando così il guasto e il conseguente fermo macchina o fermo impianto.

La prima domanda da porsi è quindi, se esista qualche grandezza fisica, misurando la quale, si possa determinare lo stato di salute del componente; tale grandezza è chiamata segnale debole. Se tale segnale non esistesse, ci si dovrebbe domandare, se, in base ai dati raccolti o alla conoscenza del comportamento su componenti analoghi, la durata della funzionalità di tale componente possa essere determinata con una certa ragionevolezza. Se sì, una politica remunerativa potrebbe essere la sostituzione programmata del componente a intervalli di tempo o di ore di funzionamento regolari. Qualora non fosse prevedibile neanche la durata della vita media del componente, non resterebbe che procedere con una politica di sostituzione a guasto. In tal caso, l'unica contromisura possibile sarebbe il cercare di avere a scorta tutti i componenti soggetti a guasto e strutturare la manutenzione in modo da intervenire in tempi rapidi all'occorrenza dell'evento di guasto.

Nel caso invece dell'esistenza della previsione di durata della vita media del componente e conseguente scelta di manutenzione preventiva ciclica, il grosso handicap di tale scelta è costituito dall'eccessiva onerosità delle parti di ricambio; infatti, pur limitando i fermi macchina rispetto alla manutenzione a guasto, il rovescio della medaglia è l'andare a sostituire, molto spesso, componenti il cui stato di funzionamento è buono o la cui durata di vita residua sarebbe ancora lunga.

A tale inconveniente si potrebbe far fronte solo attraverso l'individuazione di qualche grandezza fisica misurabile, correlata allo stato di usura del componente in esame. Una volta individuata tale grandezza fisica, si deve organizzare il piano di manutenzione in modo da monitorare, ad intervalli ben definiti, l'andamento di tale segnale e, tramite l'elaborazione dei dati misurati, andare a determinare i valori critici della grandezza in esame, per i quali è richiesto l'intervento manutentivo (sostituzione componente, regolazione, ecc.). In tali condizioni, sarebbe conveniente effettuare una scelta indirizzata verso una politica di manutenzione ispettiva su condizione.

Meglio ancora sarebbe se, tramite i valori monitorati, si riuscisse a determinare il tempo di vita residuo del componente, così da organizzare l'intervento di sostituzione in prossimità del decadimento della funzionalità del pezzo stesso e sfruttare a pieno la funzionalità del componente in esame; in tal caso si parlerebbe di manutenzione ispettiva di tipo predittivo.

Generalmente la scelta del tipo di politica manutentiva dipende dalla tipologia dell'impianto (se è un impianto a ciclo continuo o organizzato su un solo turno centrale), dal tipo di processo produttivo (se è in linea o se avviene su diverse isole non collegate), dalla presenza o meno di sistemi di back-up.

Si può ad esempio decidere di adottare una politica a guasto quando il ricambio presenta un costo eccessivo per applicare una manutenzione di tipo preventivo, o non ha una vita ben definita (materiale elettrico/elettronico) o quando l'intervento non richiede un lungo fermo. Il tutto comunque è sempre dettato dall'analisi del costo globale che scaturisce dal fermo dell'impianto e ciò può essere valutato solo attraverso una sistematica attività di raccolta dati. In questo modo si possono determinare i guasti più critici e adottare delle azioni di tipo preventivo o migliorativo.

Se poi il macchinario presenta alcuni parametri misurabili si può intervenire con una manutenzione preventiva definita ispettiva, che può essere su condizione (cioè quando il parametro che si sta misurando raggiunge un valore limite predefinito) o predittiva (cioè dal valore misurato si può estrapolare la vita residua del componente e decidere quindi un piano d'intervento).

Naturalmente tutto ciò non basta da solo per decidere la strategia manutentiva più opportuna, ma bisogna tener conto anche di altri parametri, come per esempio la relazione tra frequenza e gravità dei guasti, e la relazione tra tasso di guasto e costi (costo globale dell'intervento a guasto, costo globale dell'intervento preventivo, costo della singola ispezione).

La scelta della politica manutentiva su un particolare critico per un sistema può seguire il seguente schema:

- Se il componente/impianto comunica un segnale debole prima della sua rottura può essere assoggettato ad una manutenzione su condizione o predittiva attraverso un monitoraggio costante;
- Se invece non dà segnali deboli o non può essere ispezionato ma se ne può ipotizzare la durata si può assoggettarlo ad una politica di manutenzione preventiva attraverso la sua sostituzione programmata;
- Se infine non dà segnali deboli, e non se ne può stimare la durata, si è costretti ad utilizzare una politica manutentiva a guasto.

Inoltre, se la causa del guasto è attribuibile a sporco, usura o vibrazioni la politica di prevenzione del guasto può essere rispettivamente la pulizia, la lubrificazione o il serraggio del componente.

Una politica correttiva o su guasto è valida in quelle situazioni a basso impatto sulla produzione, sicurezza e altri parti della macchina. Viceversa, per i componenti più critici con rischi elevati di sicurezza e di produzione che possono comportare lunghe indisponibilità potrà essere scelta una politica preventiva.

Risulta adesso utile riportare un approccio tipico utilizzato per individuare in maniera chiara i criteri strategici da seguire nella scelta delle politiche e per formulare il piano di manutenzione produttiva più corretto.

I principali criteri che devono essere tenuti in considerazione nella stesura delle logiche decisionali sono:

- Criticità del componente o della linea, distinguendo se è critico ai fini della sicurezza, della protezione ambientale o della produttività. La criticità in genere si distingue in termini di sicurezza/ambiente rispetto alla criticità sulla produttività/investimento in quanto la criticità sulla sicurezza ed il rispetto dell'ambiente non si possono derogare; si deve quindi intervenire con politiche preventive programmate o su condizione.

Gli aspetti di produttività/investimenti sono più elastici e possono essere affrontati in termini di costi-benefici, valutando se il beneficio derivante dalla possibilità di prevenire il guasto ricompensa le spese derivanti da approcci manutentivi preventivi; i

componenti non critici, salvo casi in cui l'approccio preventivo è a basso costo, possono essere mantenuti con politiche correttive;

- Vincoli di legge, assicurativi o di garanzia: di norma i fornitori di apparecchiature impongono ispezioni o sostituzioni periodiche programmate senza le quali scadono le garanzie; le norme stesse richiedono tale approccio e spesso anche le compagnie di assicurazione vincolano il premio alle politiche di manutenzione adottate;
- Applicabilità dal punto di vista tecnico, di politiche su condizione: la manutenzione su condizione è la più vantaggiosa, ma purtroppo non è sempre applicabile per mancanza di segnale debole "affidabile" in grado di garantire sempre il riconoscimento del guasto imminente oppure, pur essendo disponibile, il segnale debole precede di poco il guasto, non consentendo alla manutenzione di organizzare in modo adeguato l'intervento. In questi casi se il componente è critico si dovrà ricorrere alla preventiva programmata, altrimenti si lascia il componente in correttiva;
- Costi degli interventi preventivi: per i guasti non critici solo in termini produttivi, un elemento di giudizio per la scelta della politica ottimale è il costo aggiuntivo derivante dagli interventi preventivi; in caso di manutenzione preventiva programmata il costo deriva dall'impegno a revisionare e sostituire parti ben prima che queste arrivino in prossimità della condizione di guasto, d'altro canto, come affermato precedentemente, la preventiva permette di snellire i magazzini ricambi. Per quanto riguarda la preventiva su condizione rimane il vantaggio per la gestione dei magazzini, si evitano gli smontaggi inutili, ma si deve valutare attentamente l'investimento necessario per installare i sistemi e le procedure di monitoraggio;
- Problematiche organizzative connesse alle politiche correttive: la politica correttiva è quella più facile da attuare, ma richiede notevole flessibilità delle squadre e la capacità di operare in emergenza; richiede inoltre un magazzino ricambi ben fornito onde evitare ritardi logistici sulle riparazioni.

Questa politica deve essere comunque la meno utilizzata, anche se non può essere del tutto abbandonata, perché anche una pianificazione ottimale non può essere in grado di evitare tutti i guasti; inoltre la correttiva è la più vantaggiosa per i componenti non critici.

La *Figura 1.12* mostra uno schema per il processo decisionale che porta alla scelta della politica manutentiva più opportuna tra quella a guasto, preventiva programmata e preventiva su condizione, sulla base di criteri stabiliti. Ciascuna metodologia deve essere integrata con le altre e con gli interventi di manutenzione autonoma e migliorativa, nell'ottica di un piano generale di manutenzione produttiva per ciascuna macchina e/o impianto.

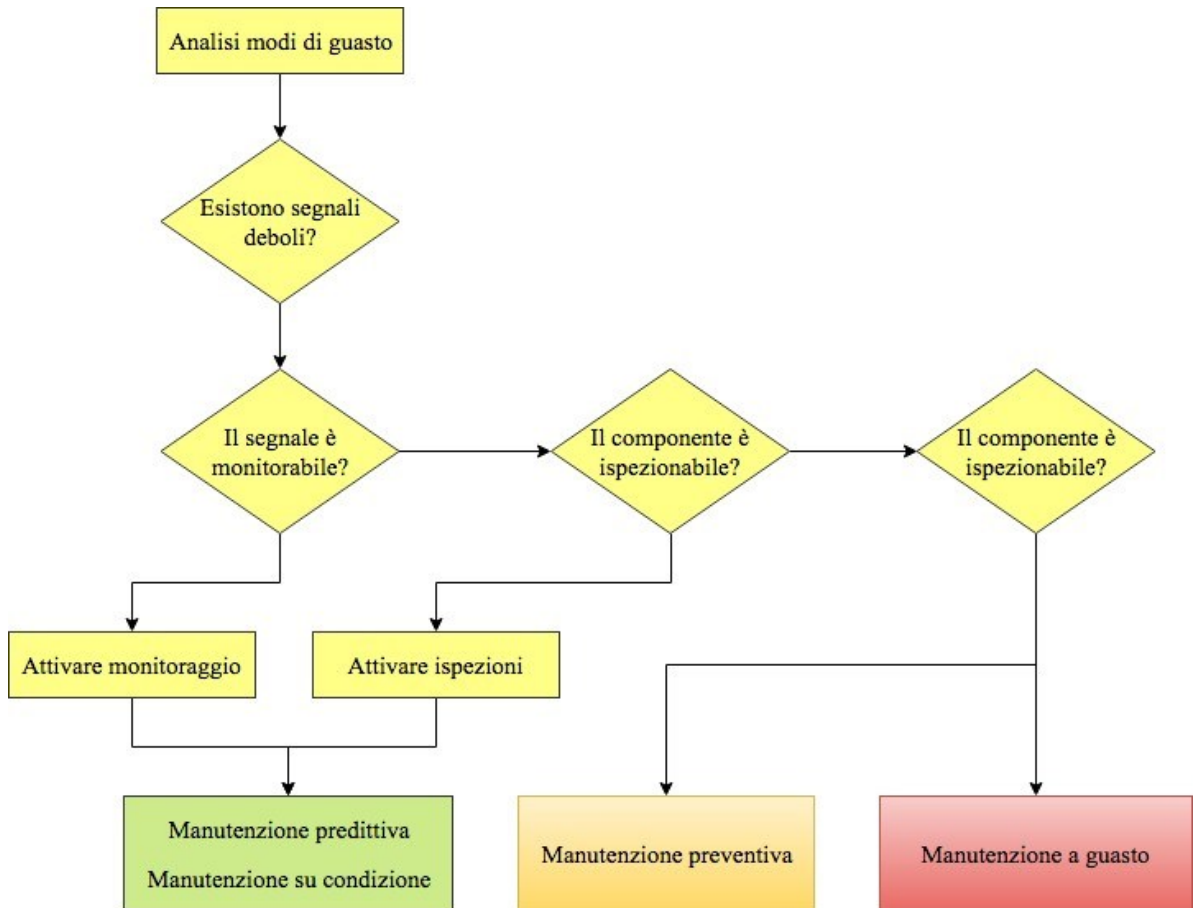


Figura 1.12: Logica decisionale per la definizione del Piano di Manutenzione Produttiva

Va detto che in ogni realtà industriale convivono, in genere, varie strategie di manutenzione. Ognuna di queste integra le altre senza annullarle, assorbendo una quota percentuale delle risorse disponibili. È possibile, cioè, applicare un mix di strategie manutentive che, nel suo insieme, costituisce la politica aziendale.

2 Capitolo

Reliability Centred Maintenance

2.1 L'approccio alla manutenzione basato sul metodo RCM

Con il termine *Reliability Centered Maintenance* (RCM) ci si riferisce ad un insieme di regole e strumenti che consente di definire dei piani di manutenzione costituiti esclusivamente da quelle attività che, eseguite sull'oggetto da mantenere, servono a garantirne le prestazioni e l'affidabilità in rapporto sia alla sua importanza nel processo, che al contesto nel quale l'oggetto si trova ad operare [8].

Moubray (2000) definisce la RCM come un “*processo che mira a definire cosa deve essere fatto per assicurare che gli asset produttivi continuino a fare ciò che l'utilizzatore si aspetta che essi facciano in un determinato contesto operativo*” [9]; infatti, l'obiettivo della filosofia trasmessa dal metodo è garantire lo stato di funzionalità dell'impianto, con l'affidabilità e disponibilità richieste, al minimo costo totale.

Questa definizione è in linea con quanto espresso da *Rusand* (2004), secondo cui l'RCM è “*una considerazione sistematica delle funzioni elementari del sistema, delle sue modalità di guasto, che determina una priorità di azioni basandosi sulla sicurezza, affidabilità ed economicità del piano, per definire obiettivi applicabili ed efficaci di manutenzione preventiva*” [10].

Una sua corretta applicazione consente di:

- migliorare le prestazioni operative ed il rapporto costo/efficacia;
- definire un piano di manutenzione o migliorare il piano esistente, eseguendo le attività più efficaci ed eliminando quelle non necessarie.

È un processo indubbiamente costoso in termini di tempo e risorse coinvolte, ma aprirsi a questa metodologia permette di raggiungere tutti gli obiettivi possibili per la funzione aziendale di manutenzione.

2.2 Fasi del processo

Il processo di applicazione del metodo è oggi definito in uno standard pubblicato dalla SAE (*Society of Automotive Engineers*). Tale documento, noto come “*Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes*”, dice che un processo, per essere un processo di “RCM” deve ottenere risposte soddisfacenti a queste sette domande che si devono fare nel seguente ordine [11]:

1. Quali sono le funzioni ed i relativi standard desiderati di funzionamento del sistema nel suo contesto operativo?
2. In quali modi il sistema può fallire la propria missione?
3. Cosa provoca i guasti funzionali?
4. Quali sono le conseguenze di ogni singolo guasto funzionale?
5. Quale è la gravità delle conseguenze del guasto?
6. Cosa si può fare per prevenire o predire ogni singolo modalità del guasto?
7. Cosa si dovrebbe fare nel caso di non fattibilità di azioni proattive?

Questo approccio è integrato dall'utilizzo delle informazioni raccolte sul processo e sul comportamento delle macchine, fondamentali per la determinazione delle decisioni da prendere per rispondere in modo soddisfacente alle domande elencate.

L'intero processo metodologico per l'implementazione della RCM è schematizzato in *Figura 2.1*.

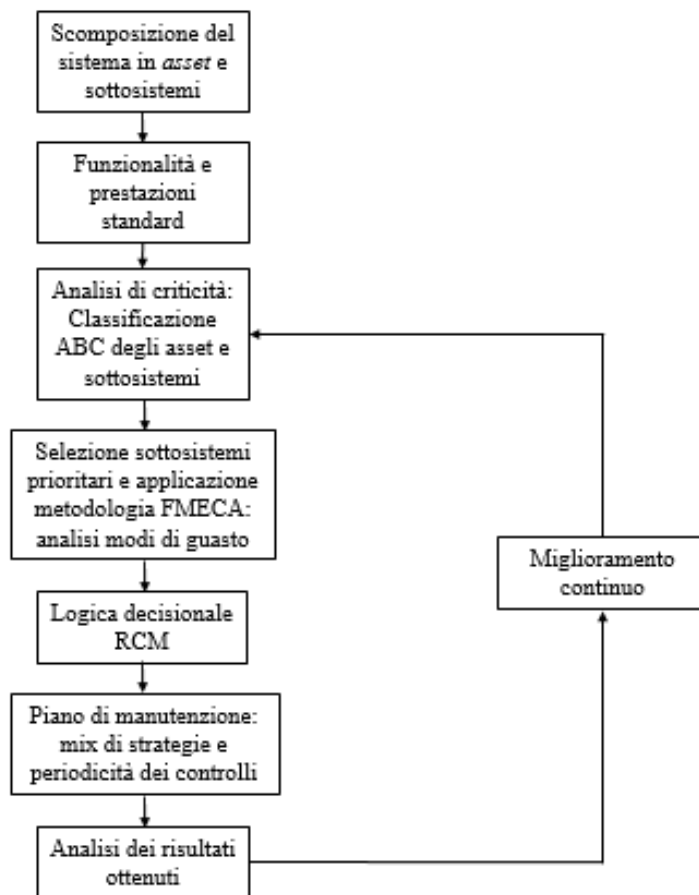


Figura 2.1 Schematizzazione metodologia RCM

Il metodo, per una sua corretta applicazione, richiede lo sviluppo di una sequenza di fasi, che, partendo dall'analisi del sistema globale, permettono di individuare le strategie manutentive più adeguate alla conservazione degli *asset* produttivi.

Si elencano di seguito le fasi principali:

1. Raccolta di informazioni: All'inizio dell'analisi è opportuno e necessario raccogliere le informazioni tecniche per ogni sistema e per i suoi componenti (meccanici, pneumatici, elettrici, elettronici); sono utili allo studio sia le informazioni descrittive (schemi di sistema, layout) che operative (istruzioni per la manutenzione, standard delle prestazioni);

2. Identificazione e suddivisione del sistema: Uno dei principali compiti da realizzare è l'identificazione di tutti i sottosistemi coinvolti nel processo produttivo, effettuandone una suddivisione logica grazie alla predisposizione di una *System Work Breakdown Structure* (SWBS). La scomposizione può essere sia a livello strutturale sia funzionale, anche se generalmente si preferisce il secondo approccio;

3. Analisi dei sottosistemi: La RCM prevede un'analisi dei requisiti manutentivi dei vari sottosistemi, che si spinge fino a un livello di dettaglio funzione della complessità del sistema stesso. Questa fase viene svolta individuando il livello di criticità di ogni apparato nei confronti di tre fattori principali:

- *Sicurezza e impatto sull'ambiente:* permette di valutare quanto un guasto improvviso su un certo sottosistema sia deleterio nei confronti della sicurezza degli operatori, dei tecnici che realizzano il ripristino del sistema e dell'impatto nei confronti dell'ambiente esterno;
- *Processo:* si definisce un indice di priorità valutando quanto il guasto di un sottosistema influenzi lo stato del processo produttivo, cioè se ne causa l'arresto, un rallentamento o non causa alcuna conseguenza significativa;
- *Qualità del prodotto o servizio:* è necessario definire anche il parametro di criticità nei confronti del livello qualitativo del prodotto/servizio reso; infatti, un guasto ad un sottosistema potrebbe generare uno scarto di lavorazione o non causare conseguenze sullo standard atteso di qualità.

L'analisi, grazie ad un flusso logico, consente di categorizzare i gruppi funzionali del sistema in base alla loro funzione nel processo e determinare un elenco prioritario di quegli elementi che necessitano di un'ulteriore scomposizione.

Vengono pertanto individuati i principali componenti che costituiscono i suddetti apparati e attraverso una FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), vengono definite le loro modalità di guasto, le cause, e gli effetti del guasto a livello locale (macchina) e globale (impianto). L'obiettivo della FMEA è quello di definire un ordine di criticità dei guasti identificabili sulle macchine, assegnando ad ognuno di essi un valore numerico sulla gravità e probabilità di accadimento e sul livello di rintracciabilità dell'evento prima che esso si verifichi.

4. Scelta delle strategie manutentive: Questa fase operativa avviene attraverso l'uso di un *albero logico* delle decisioni: al termine della scomposizione del sistema e dell'analisi critica dei guasti potenziali per i diversi componenti, si utilizza una serie di domande per caratterizzare le eventuali avarie funzionali. Le risposte permetteranno di formulare un giudizio sulla criticità di ciascun guasto e sulla possibilità di individuare un controllo efficiente.

5. Periodicità dei controlli: Numerosi studi nel settore manutentivo hanno rivelato che, molto spesso, non esiste una correlazione inversa tra il tempo d'utilizzo e l'affidabilità di un

componente ciò non significa che esso non si usura, ma che gli istanti di tempo in cui si manifestano i guasti sono distribuiti in modo tale da rendere inutile un programma di manutenzione preventiva ciclica. Al contrario un approccio del genere potrebbe condurre all'incremento del tasso medio di guasto. Considerando quest'ottica, risulta conveniente adottare una periodicità iniziale dettata dall'esperienza del personale di manutenzione, per poi modificarla in base alle conoscenze acquisite operativamente sul campo.

6. Efficienza di costo: Per poter essere sostenibile, un piano di manutenzione deve essere economicamente realizzabile. Si parla, in questo contesto, di efficienza di costo, intendendo misurare l'efficienza raggiunta nell'utilizzare delle risorse per ottenere certi risultati. In pratica bisogna valutare i costi annuali derivanti dallo svolgimento delle singole attività e compararli con i costi diretti annuali dei guasti che ciascuna attività mira a prevenire.

Riassumendo, la RCM utilizza come base un modello di analisi delle cause di guasto che consente al manutentore di definire i piani e le modalità di gestione degli interventi [4].

Per conseguire questo risultato, una corretta implementazione della metodologia deve riguardare i seguenti aspetti:

- stimolare la valutazione delle conseguenze dei guasti, in modo da integrare le decisioni circa la sicurezza, i parametri economici e i costi di manutenzione;
- sviluppare la ricerca sui modelli di comportamento al guasto dei sistemi complessi, per avere un approccio innovativo nella scelta delle più opportune politiche di prevenzione, o nell'individuazione di attività alternative qualora la manutenzione preventiva non sia applicabile;
- combinare queste attività, in un processo che garantisca la generazione di scelte ottimali alla ricerca del miglioramento continuo.

2.2.1 Raccolta dei dati

La prima fase del processo è mirata a raccogliere ed analizzare le informazioni sul sistema in esame, per definirne le caratteristiche tecniche ed operative. Lo scopo della raccolta dei dati è, secondo Overman (2007), "la ricerca delle modalità di guasto caratteristiche per il sistema e in

generale per i sottosistemi che lo compongono per identificare le azioni più appropriate a seconda delle esigenze” [11].

È infatti abbastanza intuibile come ogni componente (sia esso meccanico, pneumatico, elettrico o elettronico) è destinato a rompersi senza adeguati interventi di ispezione e mantenimento. Seppure una corretta progettazione sia indispensabile per il buon funzionamento del sistema, l'usura e le condizioni di ciclo operativo determinano un effetto di degradamento nel tempo delle sue prestazioni fino all'evento di rottura.

Questo effetto può essere prevenuto grazie a degli interventi manutentivi mirati al monitoraggio e controllo dello stato del sistema, ma per questioni strettamente legate all'impiego dispendioso di risorse (tempo, manodopera, materiali) è impensabile e soprattutto poco utile tentare di anticipare ogni tipologia di avaria funzionale.

Ogni guasto non è soltanto descritto dalla sua probabilità di accadimento, ma anche dall'impatto che esso ha nei confronti dello stato del sistema: potrebbe portare allo stato di fermo l'intero impianto, eventualmente con effetti anche in termini di sicurezza, o non avere alcuna conseguenza significativa sull'esecuzione del processo produttivo.

Diventa quindi fondamentale identificare le caratteristiche tecniche degli *asset* del sistema attraverso la raccolta delle informazioni per valutare, categorizzare e definire le priorità degli interventi, poiché la sola conoscenza dei possibili stati di guasto non è sufficiente per individuare le attività di manutenzione più appropriate.

2.2.2 Scomposizione del sistema: System Work Breakdown Structure

Il livello di dettaglio della scomposizione è funzione della complessità degli *asset* produttivi; infatti, all'interno di uno stesso sistema, potrebbe essere necessario spingersi all'identificazione dei singoli componenti per certi tipi di *asset*, mentre per altri potrebbe bastare la visione d'insieme per definire le opportune attività di manutenzione.

Inoltre, una corretta articolazione del sistema permette di individuare le diverse esigenze di manutenzione e l'allocazione ottimale delle risorse manutentive.

Un aspetto molto importante per l'esecuzione della metodologia consiste nel fatto che la scomposizione fisica del sistema va integrata e completata con quella funzionale: per una

corretta progettazione della manutenzione bisogna prima definire le caratteristiche operative e le prestazioni standard di ogni elemento che compone il sistema [9].

L'identificazione degli elementi più critici e delle loro funzionalità è una fase preliminare necessaria per condurre una buona analisi sulle modalità e sugli effetti dei singoli guasti.

2.2.3 Analisi delle criticità del sistema

Dopo aver definito le condizioni operative del sistema, la fase successiva della metodologia RCM si focalizza sulla ricerca degli apparati (*asset* produttivi e gruppi funzionali) più critici. Per poterla eseguire sono necessari degli strumenti di supporto per determinare innanzitutto i sottosistemi maggiormente soggetti a guasti e, in un secondo momento, per valutare qualitativamente e quantitativamente quanto l'insorgere di un guasto determini il decadimento delle prestazioni attese.

A tale scopo si elencano i principali strumenti che sono stati utilizzati, definendone gli obiettivi del loro impiego:

1. Analisi di Pareto

Nella fase iniziale dell'analisi è necessario mettere in evidenza quali siano gli *asset* che penalizzano maggiormente il processo in termini di numero di interventi di manutenzione per guasto e ore sottratte alla produzione. Per poter compiere questo tipo di studio è di fondamentale importanza ricorrere ai Sistemi Informativi di Manutenzione, che consentono la raccolta dei dati di guasto e li rendono disponibili per condurre l'analisi del sistema.

Il livello di affidabilità dello studio è quindi funzione della bontà dei dati raccolti: tanto maggiore è il numero e il dettaglio dei dati, tanto maggiore sarà anche la consistenza dei risultati ottenuti sull'andamento dei guasti occorsi al sistema.

Attraverso l'analisi di Pareto sarà possibile tracciare una mappa della criticità degli *asset* e, se i dati utilizzati lo consentono, dei singoli gruppi funzionali.

Come mostra la *Figura 2.2*, generalmente si individuano tre macro-aree:

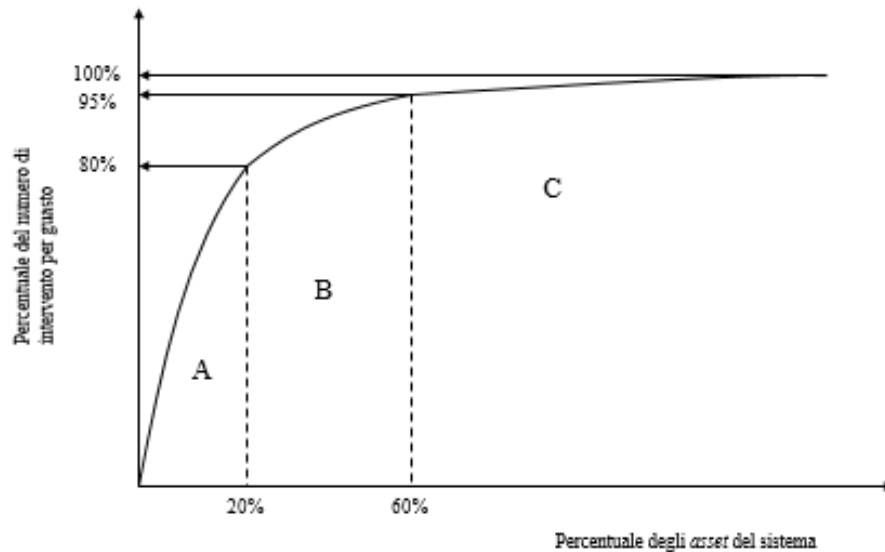


Figura 2.2 Classificazione ABC di Pareto

- **Area A:** rientrano in questa zona un esiguo numero di sottosistemi, all'incirca il 20% del numero totale, ma in termini di perdite essi sono responsabili della quasi totalità degli eventi di guasto (80%);
- **Area B:** in questa area è possibile trovare una quantità maggiore di sottosistemi (circa il 40% del totale); ad essi si deve un'incidenza minore sulle perdite di produttività del sistema (15%);
- **Area C:** comprende la restante quota dei sottosistemi (40%), ma sono soggetti ad un numero di interventi per guasto che influenza solo marginalmente il sistema globale (5%).

L'individuazione degli elementi più soggetti a guasto permette di capire in che direzione focalizzare l'attenzione nelle successive fasi di ricerca delle criticità.

Questo tipo di analisi consente di visualizzare:

- l'incidenza per categoria
- la curva cumulata di crescita percentuale di tecnica
- la curva cumulata di crescita percentuale di un insieme di fattori.

Nella pratica tali tecniche permettono di identificare su quali zone concentrare gli interventi per ottenere il massimo in termini di benefici conseguiti.

L'“Analisi di Pareto” può essere considerata una tecnica più raffinata dell'Analisi ABC.

2. *Classificazione ABC dei sottosistemi*

La “*classificazione ABC*” è una tecnica il cui scopo è di raggruppare un insieme di elementi in categorie arbitrarie. Esiste in generale la necessità di classificare, in ordine di importanza, alcuni dati o fattori così da poterne valutare il grado di importanza e di conseguenza disporre di uno strumento di analisi importante.

Anche in questa ricerca è buon uso far uso del Sistema Informativo di Manutenzione adottato dalla funzione di Ingegneria di Manutenzione, ma se queste informazioni non fossero disponibili, o per mancanza dei dati o perché si sta valutando le esigenze di un nuovo sistema per cui non esiste uno storico dei guasti, si può far ricorso ad un’analisi puramente qualitativa.

Questa permette di definire quanto un guasto ad un sottosistema infici le prestazioni del sistema e, attraverso una valutazione dei risultati ottenuti, sarà possibile definire sottosistemi di classe A, B e C.

I sottosistemi produttivi sono assegnati alle diverse categorie in base a quanto essi siano critici secondo una serie di parametri, che sono elencati e definiti di seguito:

- **Sicurezza/Ambiente:** definisce il livello di criticità nei confronti della sicurezza delle persone coinvolte e del danno ambientale conseguente al verificarsi di un’avaria funzionale del sottosistema;
- **Qualità:** questo parametro misura quanto un sottosistema svolga una funzione più o meno importante nel garantire lo standard qualitativo del prodotto o servizio realizzato dal processo;
- **Utilizzo della macchina:** si determina la continuità di impiego del sottosistema all’interno del ciclo operativo, cioè se esso sia sempre coinvolto attivamente nella missione del sistema o se sia impiegato solo in determinati momenti o fasi;
- **Perdita di produzione:** indica se, nel caso in cui un sottosistema non sia in grado di svolgere le funzioni previste, il suo arresto determina una fermata del sistema, un suo rallentamento o non comporti alcun effetto collaterale;
- **Manutenibilità:** il parametro di manutenibilità quantifica il tempo di intervento necessario al ripristino del sistema; se un sottosistema è difficilmente accessibile, determina una perdita significativa, al contrario se è facilmente riparabile, avrà un’influenza minore.

Ad ogni parametro viene associato un corrispondente valore numerico e attraverso un flusso logico che utilizza i pesi assegnati si individuano le categorie di appartenenza dei diversi apparati.

Le categorie sono definite secondo la tabella indicata di seguito:

Classe	Criticità
A	L'asset/sottosistema è molto critico e ci sono gravi conseguenze in caso di guasto
B	L'asset/sottosistema ha un livello di criticità medio
C	L'asset/sottosistema ha un livello di criticità solo marginale

Tabella 2.1 Classificazione ABC

Per ogni classe, si procede nelle seguenti modalità:

- **Classe A:** comprende gli apparati più critici, che hanno un impatto sostanziale in termini di sicurezza o continuità del processo; per questa categoria è necessario provvedere ad una scomposizione ad un dettaglio maggiore, per identificarne i componenti critici e prendere le adeguate misure per prevenire l'insorgere delle avarie;
- **Classe B:** appartengono a questa categoria apparati che hanno un'influenza minore rispetto alla classe precedente, ma è comunque opportuno verificarne le principali modalità di guasto e valutare eventuali azioni di intervento preventivo;
- **Classe C:** comprende elementi che hanno un impatto solo marginale e non determinano perdita di sicurezza e funzionalità del sistema sostanziali; vengono mantenuti a guasto e non richiedono un ulteriore scomposizione rispetto alla visione di insieme.

3. Analisi FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)

La FMEA (o Analisi dei modi e degli effetti dei guasti, dall'inglese *Failure Mode and Effect Analysis*) è una metodologia utilizzata per analizzare le modalità di guasto o di difetto di un processo, prodotto o sistema, analizzarne le cause e valutare quali sono gli effetti sull'intero sistema/impianto. Generalmente, ma non necessariamente, l'analisi è eseguita preventivamente e quindi si basa su considerazioni teoriche e non sperimentali.

La corretta applicazione del processo RCM prosegue con una FMEA, metodologia di studio affidabilistico le cui origini concettuali sono di supporto alla progettazione di sistemi complessi. Negli anni più recenti ha, tuttavia, trovato molto spazio di applicazione in altri ambiti di utilizzo, quali l'analisi di processo e la manutenzione degli impianti industriali.

Secondo la normativa UNI 10336, costituisce un elemento fondamentale nell'ingegneria di manutenzione, nel cui ambito si è affermata come lo strumento d'elezione per:

- l'analisi delle modalità di guasto delle entità complesse;
- l'identificazione dei suoi elementi critici dal punto di vista dell'affidabilità;
- la definizione ragionata del piano di manutenzione a partire dai componenti critici.

Sostanzialmente la metodologia FMEA è una procedura fondata su due criteri principali:

- il primo è costituito dalla scomposizione gerarchica dell'entità in sottogruppi a complessità decrescente, fino ad arrivare al livello di dettaglio voluto (eventualmente fino ai componenti elementari del sistema) per ottenere una struttura ad albero rovesciato secondo il principio dell'analisi funzionale;
- il secondo criterio consiste nell'esecuzione dell'analisi di affidabilità ad ogni livello e cioè nella determinazione di modo, causa, meccanismo ed effetto del guasto a quel livello, valutando in modo opportuno la criticità del componente in esame.

Alla fine di questo processo di analisi si ottiene un quadro estremamente articolato e documentato del modo e della probabilità con cui si possono generare i guasti nell'entità e, su tale base, si possono definire le azioni di progettazione, pianificazione e miglioramento della manutenzione o del progetto dell'entità.

Prima di descrivere nel dettaglio la metodologia, si richiama la terminologia utilizzata nel corso di una FMEA nella seguente tabella [5].

Termine	Significato
Modo di guasto	Modo in cui si manifesta il guasto ed il suo impatto sulle operazioni di un'entità (può essere totale, parziale o intermittente)
Meccanismo del guasto	Fenomeno naturale di degrado del funzionamento di un'entità che perdurando nel tempo può portare al guasto della stessa (può essere un processo fisico di carico meccanico, di carico termico o fisico/chimico di invecchiamento)

Causa del guasto	Origine determinante che spiega il guasto, cioè "la circostanza che porta al guasto", di un'entità (può essere dovuta a molti fattori, tra cui una non adeguata progettazione, installazione, ad usura, ad un utilizzo improprio o ad errata manutenzione)
Effetto di guasto	Conseguenze che un modo di guasto ha sulle funzionalità di un'entità
Effetto locale	Conseguenze che un modo di guasto ha sulla funzionalità di un'entità a livello di "scomposizione" più basso (livello di macchina)
Effetto finale	Conseguenza che un modo di guasto ha sulla funzionalità di un'entità a livello di "scomposizione" più alto (livello di sistema globale)
Azione correttiva	Modifica documentata del progetto, del processo, di una procedura, dei materiali utilizzati, implementata per correggere un difetto progettuale e/o prevenire o limitare una causa di guasto

Tabella 2.2 Terminologia d'uso per analisi FMEA

Dopo aver introdotto i termini specifici per l'impiego del metodo, si descrive la sequenza logica delle fasi che compongono la metodologia:

- Scomposizione dell'*asset* nei suoi gruppi funzionali principali e componenti elementari;
- Individuazione dei modi di guasto, dei meccanismi e delle cause potenzialmente associati all'entità:
- Individuazione dei sintomi di guasto incipiente/avvenuto associati a ciascun modo di guasto, e dei metodi e delle modalità di rilevazione precoce/successiva al guasto;
- Analisi delle criticità, tramite attribuzione dell'indice di criticità, o indice di rischio, associato a ciascun modo di guasto;
- Individuazione delle azioni correttive e pianificazione della manutenzione.

L'analisi di criticità, che è l'obiettivo della FMEA, consiste nel valorizzare il rischio operativo di ciascun modo di guasto; questo processo è basato sull'assegnazione di un cosiddetto indice di rischio che può essere calcolato con diverse modalità. Questo indice è noto come Risk Priority Number ed è calcolato come il prodotto di tre fattori:

$$RPN=S*P*D$$

Dove:

- S è il fattore che misura la *severity*, cioè la severità (o gravità) degli effetti del guasto;
- P è il parametro di *probability*, cioè la probabilità di accadimento dell'evento in questione;
- D è il fattore di *detection*, che misura la facilità con cui il guasto può essere rilevato in anticipo mediante rilevazione del sintomo premonitore e/o la facilità con cui è rilevato a guasto avvenuto.

Ciascun fattore deve essere definito a partire da una propria scala a punti, definita secondo un approccio semi-quantitativo. La scala è costruita assegnando dei punteggi crescenti in corrispondenza delle condizioni di rischio associate: più alto è il punteggio, peggiori sono la *severity* (l'effetto di guasto è più grave), la *probability* (è più probabile che si verifichi il guasto), la *detection* (è meno facile rilevare in anticipo il guasto incipiente e/o diagnosticare il guasto avvenuto).

Definita la scala di riferimento per i tre fattori, viene usata per calcolare l'indice di rischio RPN per ciascun guasto del sistema. Fatto il calcolo, si procede all'ordinamento dei diversi guasti per indice RPN decrescente.

Il risultato ottenuto permette di selezionare i modi di guasto a maggior indice di criticità, ma per l'implementazione degli interventi manutentivi, soprattutto nel caso di un sistema nuovo, potrebbe essere preferibile focalizzare le attenzioni sul parametro calcolato come prodotto tra *severity* e *probability*. Si definisce un nuovo indice di rischio:

$$R=S*P$$

Infatti, potrebbero emergere dei guasti caratterizzati da un indice RPN elevato, ma con valori di *severity* e *probability* bassi ed un alto valore di *detection*. In fase di prima progettazione potrebbe essere più opportuno porre le maggiori attenzioni sui guasti con parametro R elevato, ed affrontare successivamente le restanti avarie funzionali del sistema.

In base al parametro appena definito, si definisce una *matrice di criticità* (Figura 2.3), le cui aree sono funzione dei parametri di gravità e probabilità di accadimento del guasto.

L'obiettivo di questo strumento è evidenziare quali guasti appartengono alle diverse aree del grafico, e, a seconda di dove essi siano posizionati, stabilire un ordine di priorità di intervento manutentivo.

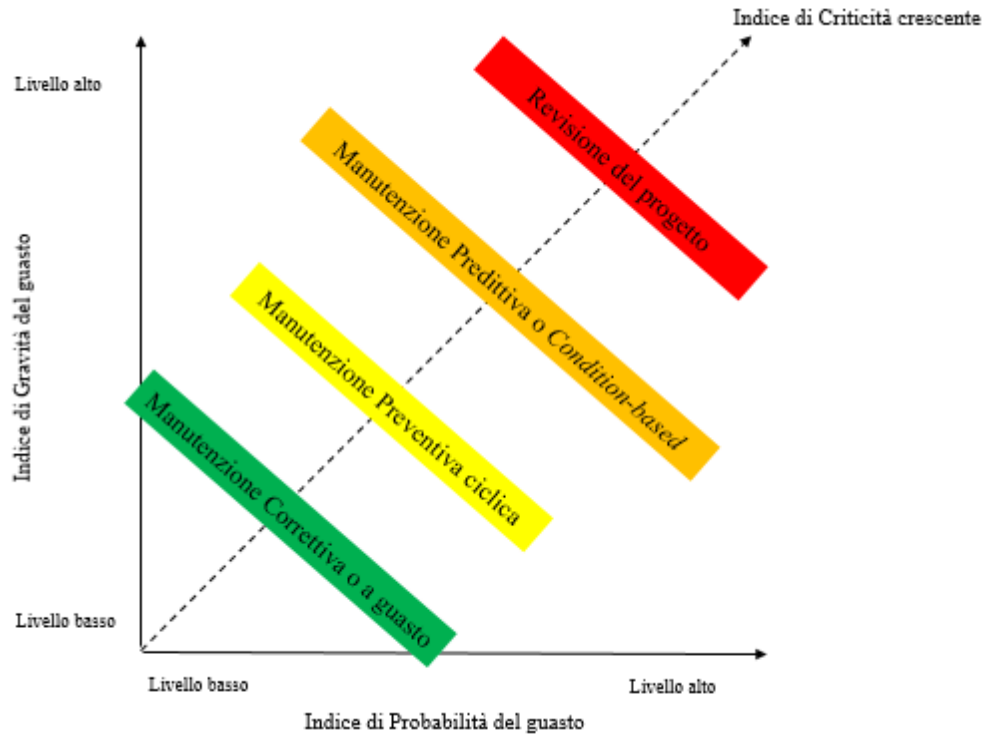


Figura 2.3 Matrice di criticità

2.2.4 Albero logico delle decisioni

Compiuta l'analisi di criticità con il metodo FMEA, si passa alla fase propositiva e decisionale della metodologia RCM. In questa fase, sono individuate le azioni correttive per prevenire o limitare una possibile causa di guasto.

Le azioni correttive sono tipicamente sotto la responsabilità del servizio di manutenzione e possono comprendere:

- provvedimenti a carattere non periodico di manutenzione migliorativa (piccole modifiche di progetto di impianto);
- revisioni periodiche dell'impianto e, dove possibile, introdurre ispezioni e controlli (manutenzione predittiva) con una certa cadenza temporale, che sarà poi ritardata in base alle necessità reali degli *asset*;
- integrare le scelte manutentive con le procedure di gestione dei ricambi, cioè stabilire quali materiali gestire a scorta e a fabbisogno, in base alle scelte fatte in fase di pianificazione delle attività di manutenzione.

Queste decisioni vengono prese in base all'esistenza di un *segnale debole*, inteso come sintomo premonitore di un futuro guasto e la sua monitorabilità, ovvero l'esistenza di una previsione di durata (se esistono indicazioni sulla vita utile di un componente) per poter programmare ispezioni a cadenza o sostituzioni preventive. Ogni guasto viene processato da un albero logico delle decisioni, con cui è possibile valutare le modalità di gestione del guasto stesso.

Il percorso decisionale è rappresentato nel seguente diagramma di flusso *Figura 2.4*, denominato *albero logico delle decisioni*.

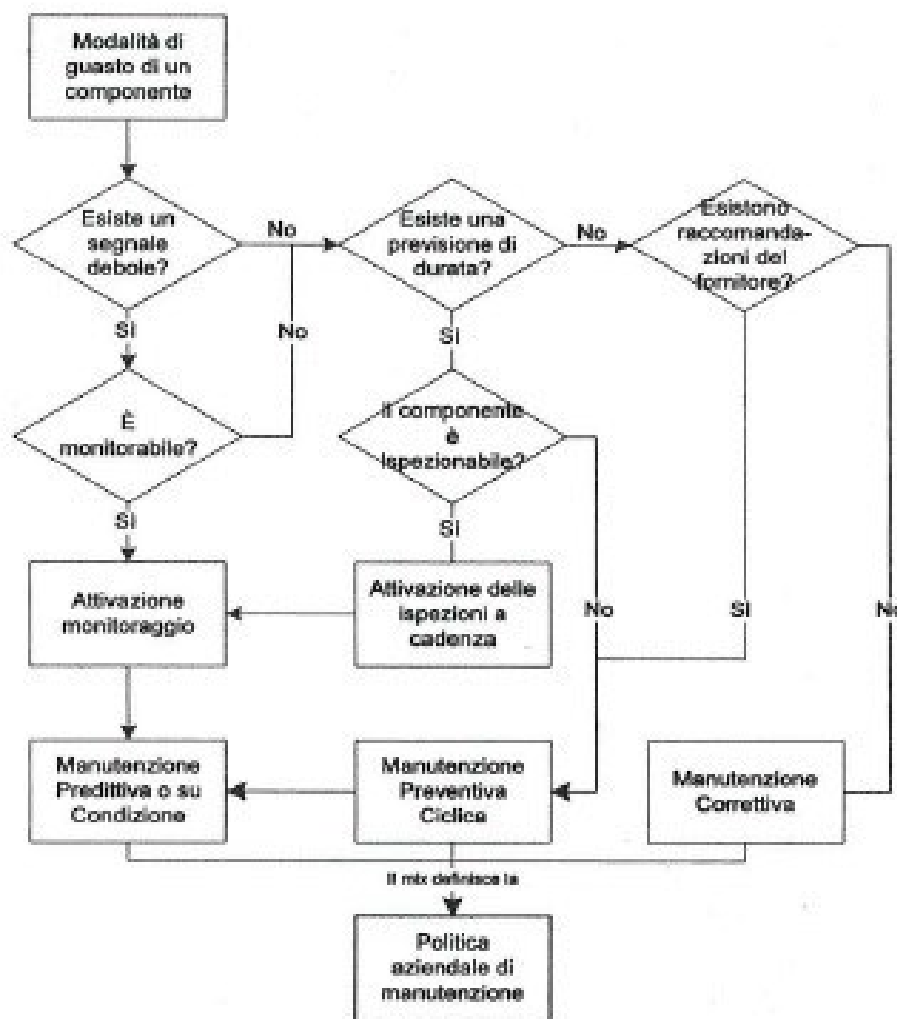


Figura 2.4 Albero logico delle decisioni

Percorrere il diagramma significa porsi una serie di domande sulle caratteristiche di un'entità, in particolare sui componenti soggetti a guasto. Si individua la modalità di guasto e, attraverso una serie di domande a cui è possibile rispondere soltanto sì o no, si associa una sola categoria manutentiva.

Questo processo permette di definire:

- attività di ispezioni programmate a scadenza, eventualmente tramite l'impiego di strumenti diagnostici (analisi vibrazionali, termografie, controllo dello stato degli oli, analisi tramite strumentazioni specifiche per l'assorbimento elettrico di un motore) per l'applicazione di manutenzione predittiva;
- attività di sostituzioni a tempi fissati, mediante l'implementazione di manutenzione preventiva ciclica;
- attivare la manutenzione correttiva a guasto, in attesa di una revisione del piano a seguito della raccolta dei dati storici sul trend dei guasti.

Si definisce così la politica di manutenzione, grazie alla scelta e all'integrazione delle diverse strategie manutentive. Questo processo, per attuare il miglioramento continuo, deve essere continuamente rivisitato e aggiornato, in funzione dei risultati raggiunti dalla funzione manutenzione e in presenza dei dati di guasto raccolti sul sistema

2.2.5 Fattibilità economica del piano

Dopo aver progettato il piano manutentivo sono emerse le linee guida che hanno portato alla sua definizione, che sono riassunte di seguito:

- scomposizione del sistema fino ai componenti elementari, mediante analisi funzionale;
- analisi di criticità per definire gli *asset*/gruppi funzionali più influenti sulla operatività del sistema e identificazione dei principali modi di guasto;
- scelta della strategia manutentiva (predittiva, preventiva ciclica e correttiva) per ogni modalità di guasto e della periodicità degli interventi, ed eventuale successiva revisione del piano iniziale in base ai risultati raggiunti.

Così facendo non si tiene conto del costo del piano generato: per essere applicato, esso deve essere sostenibile non solo da un punto di vista tecnico, ma anche economico.

La verifica di fattibilità economica di un piano manutentivo richiede un confronto tra il costo totale di manutenzione e i benefici attesi nel tempo dall'applicazione delle strategie manutentive prescelte, che possono rivelarsi dispendiose.

Questo aspetto è impossibile da verificare in fase di progetto del piano, poiché la manutenzione mira alla conservazione delle prestazioni dell'impianto durante l'intero ciclo di vita utile. È una valutazione non semplice da fare, cosicché spesso si mira solo al contenimento del costo attuale (costi diretti), senza valutare il costo complessivo cumulato nel tempo di una manutenzione inadeguata (costi indotti).

Per indicare, seppur in modo qualitativo, i benefici dovuti all'utilizzo del metodo RCM e alla sua attuazione, facciamo ricorso alla seguente tabella, in cui si confrontano i risultati ottenibili con una manutenzione "standard" con quelli ottenibili con la RCM:

	Piano di manutenzione standard	Piano di manutenzione definito mediante RCM
Strategie manutentive adottate	Manutenzione correttiva Manutenzione preventiva ciclica	Manutenzione correttiva Manutenzione preventiva ciclica Manutenzione predittiva
Vantaggi	-Contenimento dei costi diretti di Manutenzione; -Semplicità di gestione del piano (non c'è necessità di pianificare ispezioni e controlli sull'impianto e ripianificare la cadenza degli stessi in base alle condizioni del sistema);	-Contenimento dei costi totali di manutenzione, specialmente la voce di costo indotto o di mancata produzione; -Possibilità di programmare gli interventi in base alle effettive condizioni di funzionamento dell'impianto;
Svantaggi	-Aumento dei costi totali con legge quadratica (costo cumulato di Manutenzione); -Non è nota la condizione effettiva dell'impianto: intervento ad emergenza o senza conoscere lo stato reale delle macchine;	-Aumento dei costi diretti di manutenzione per l'esecuzione dei controlli e l'installazione di eventuali strumenti diagnostici; -I risultati del piano sono evidenti su un orizzonte di tempo medio-lungo; -Le risorse disponibili (manodopera, tempo) sono limitate;

Tabella 2.3 Confronto tra Politiche di Manutenzione

3 Capitolo

Total Productive Maintenance: manutenzione produttiva (TPM)

Una moderna visione dell'organizzazione industriale tende a identificare la manutenzione non più come una funzione aziendale accessoria alla produzione, ma come una sua parte integrante. In quest'ottica si inseriscono le motivazioni che portano all'approccio della manutenzione produttiva (Total Productive Maintenance, TPM).

La Total Productive Maintenance è quindi un sistema di gestione della manutenzione basata sul lavoro in team, che cerca di realizzare l'integrazione tra la produzione e la manutenzione, attraverso la condivisione degli obiettivi e la collaborazione di tutte le persone coinvolte direttamente nel processo produttivo.

3.1 Struttura e passi operativi del TPM

L'obiettivo principale della TPM è quello di ridurre al minimo le fermate degli impianti aumentandone la disponibilità e le prestazioni degli stessi, l'eliminazione di ogni tipo di perdita, il prolungamento della vita operativa delle macchine e l'aumento dell'efficienza del sistema produttivo.

In pratica, questo nuovo approccio combina il metodo americano della manutenzione preventiva con quello giapponese del controllo totale di qualità ed il coinvolgimento degli operatori a qualsiasi livello aziendale.

Il risultato che ne scaturisce è un sistema innovativo per la manutenzione delle macchine che elimina i guasti e le micro-fermate, promuove gruppi autonomi di manutenzione attraverso attività di ispezione giornaliera e migliora la qualità e l'efficienza del sistema produttivo.

Nelle compagnie dove questo sistema è già stato adottato ha portato ad ottimi risultati, tra cui: l'aumento delle conoscenze e della professionalità sia degli operatori di linea che dei manutentori; riduzione dei guasti e forte diminuzione dei tempi di set-up, di aggiustamento e di micro fermate; una riduzione delle giacenze di parti di ricambio; miglioramento di qualità dei prodotti finiti; diminuzione degli incidenti sul posto di lavoro ed un notevole incremento della produttività e dell'efficienza dei reparti produttivi.

L'aggettivo "totale" che contraddistingue la TPM si riferisce a quattro elementi principali:

- *Efficienza totale*, in quanto si ricerca l'efficienza economica, produttiva e delle macchine (OEE);
- *Sistema totale di manutenzione*, poiché integra la manutenzione preventiva programmata con la manutenzione predittiva, migliorativa ed autonoma;
- *Partecipazione totale, di tutti i dipendenti*, dato che il presupposto fondamentale per il suo successo risulta essere la manutenzione autonoma eseguita dagli operatori di produzione.
- *Coinvolgimento totale*, ovvero il coinvolgimento di tutte le funzioni aziendali, in primo luogo attraverso un rapporto sinergico tra manutenzione e produzione per un miglioramento continuo della qualità, dell'efficienza operative, della produttività e della sicurezza.

Il JIMP sintetizza la definizione di Total Productive Maintenance in cinque punti principali:

- Impiego più efficace ed efficiente degli impianti;
- Realizzazione di un sistema di manutenzione preventiva che copra l'intero ciclo di vita delle macchine e di un sistema di prevenzione delle perdite basandosi sugli ambienti di lavoro e sugli oggetti fisici che li compongono;
- Coinvolgimento, responsabilizzazione e collaborazione di tutte le funzioni aziendali (progettazione, ingegnerizzazione, programmazione, produzione, manutenzione) ed a tutti i livelli, dalla direzione all'operatore di linea;
- Sostegno alla formazione di piccoli gruppi autonomi e fortemente motivati per lo svolgimento di attività di auto manutenzione nell'intento di raggiungere l'obiettivo "zero perdite".

Con l'affermarsi di tale filosofia si è passati da una logica basata sulla manutenzione preventiva, caratteristica delle aziende americane, ad una logica di stampo giapponese fondata su attività di manutenzione svolte da piccoli gruppi, che coinvolge in maniera trasversale e sinergica tutti i livelli aziendali, dal vertice fino al personale di linea.

3.2 I campi d'azione della TPM

I campi d'azione della TPM si articolano su due piani diversi:

Organizzativo: l'obiettivo è il trasferimento all'interno del processo produttivo di tutte le responsabilità e quindi anche le attività relative alle prestazioni dei mezzi di lavoro e alla loro manutenzione. In particolare, la TPM stimola il processo di appropriazione della gestione della macchina da parte del conduttore o macchinista.

Tecnologico: l'obiettivo è il miglioramento della capacità della macchina di lavorare in qualità. Si agisce quindi sul miglioramento contestuale della disponibilità e della qualità con conseguente riduzione degli scarti puntando all'ingegnerizzazione della manutenzione.

Dal punto di vista tecnologico occorre tener presente che negli ultimi anni i macchinari e gli impianti industriali hanno raggiunto livelli di complessità e di automazione molto elevati, di conseguenza anche i capitali investiti sono cresciuti in pari misura obbligando le aziende a impegni finanziari gravosi e prolungati nel tempo. Risulta quindi necessario fare in modo che l'impianto, una volta che è stato programmato per una certa produzione, non subisca fermate o rallentamenti per evitare pesanti conseguenze sui costi.

La definizione dei campi d'azione della TPM mostra l'ampio spettro di interesse di questo innovativo approccio che spazia dall'officina agli uffici, dall'arricchimento professionale del personale alla salvaguardia della sua salute e sicurezza.

Oggi il perfetto funzionamento di un centro di lavoro, proprio a causa della sua complessità, dipende da un numero elevato di parametri, non tutti necessariamente tecnici o rigorosamente di manutenzione. È quindi essenziale riuscire a creare una mentalità per cui siano gli operatori a doversi prendere cura della loro macchina e per fare questo è necessario che tutto il personale lavori in perfetta sinergia.



Figura 3.1: Campi d'azione del TPM

Tale visione globale ed interfunzionale viene sintetizzata nello schema di seguito riportato (Figura 3.1).

Spesso le realtà produttive presentano perdite dovute alla mentalità ed al comportamento delle persone che vi lavorano, a cominciare dal vertice aziendale fino al personale di prima linea. Pertanto per creare una inversione di tendenza si rende necessario innanzitutto cambiare la mentalità delle persone e solo allora si può pensare ad un miglioramento strutturale degli impianti e ottenere la riduzione delle perdite. Proprio grazie alla crescita del personale e sarà possibile migliorare le aziende rendendole capaci di affrontare tutti i cambiamenti che i nuovi scenari di mercato impongono.

3.2.1 I pilastri del TPM

La filosofia TPM, per raggiungere gli obiettivi prefissati, è strutturata nei seguenti 8 pilastri (Figura 3.2):

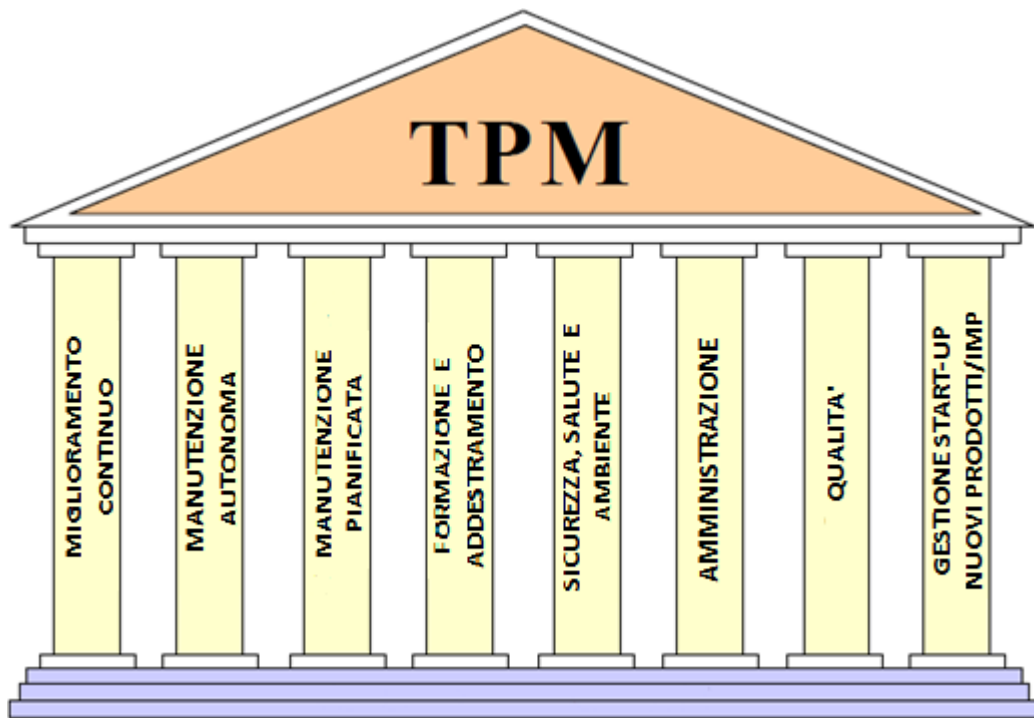


Figura 3.2: Gli 8 pilastri della TPM

Come emerge dalla figura, la TPM estende la propria filosofia a tutti i settori aziendali, i cosiddetti pilastri sulla cui forza pone le fondamenta l'architettura metodologica.

I Pilastro - Miglioramento continuo: centra la sua attenzione sul raggiungimento dell'efficienza degli impianti, che viene esplicitato attraverso l'introduzione di un nuovo parametro per il controllo delle prestazioni del sistema di produzione: l'indice di efficienza totale (Overall Equipment Effectiveness, OEE).

II Pilastro - Manutenzione Autonoma: per manutenzione autonoma si intende la cura giornaliera dell'impianto da parte dei tecnici di produzione per prevenire il deterioramento forzato delle attrezzature ed avere macchine la cui durata dipenda solo dal deterioramento naturale e coincida con quella di progetto. Si tratta di uno degli aspetti principali e di vera innovazione portati dalla TPM e può essere definita come il complesso delle attività di manutenzione e conduzione svolte dal personale di produzione.

III Pilastro - Manutenzione Pianificata: questo pilastro ha come scopo la creazione di un piano di manutenzione che porti a superare il concetto di manutenzione a guasto, sottolineando l'importanza della manutenzione preventiva, migliorativa e predittiva.

IV Pilastro - Formazione e addestramento: una corretta ed efficace implementazione della TPM necessita di personale istruito, motivato e partecipe agli avvenimenti aziendali, in grado di attuare in modo efficiente ed efficace le azioni previste dal piano di introduzione e sviluppo della TPM. In tal senso assume un ruolo fondamentale l'addestramento del personale, che deve essere svolto in modo rigoroso e sistematico. Infine, bisogna favorire la creazione di un ambiente di lavoro in cui sia diffuso il concetto di "auto-addestramento": il personale dovrebbe trovare gli stimoli per accrescere il proprio bagaglio culturale e per apprendere nuove e più elevate competenze. Solo personale istruito e motivato può infatti mettere in atto in modo efficiente ed efficace le azioni previste dalla TPM.

V Pilastro - Sicurezza, salute e ambiente: con l'implementazione di questo pilastro si assiste alla creazione di un sistema di management di sicurezza, salute e condizioni ambientali ottimali per il personale e le strutture aziendali.

VI Pilastro - Amministrazione: il compito fondamentale del sistema amministrativo è quello di creare dei team di sviluppo della TPM e interfacciare i vari gruppi. Le attività fondamentali che il sistema amministrativo è chiamato ad assolvere sono le seguenti:

- Motivare e sostenere i team di implementazione della TPM;
- Supportare il management e diffondere la strategia aziendale;
- Raccogliere dati;
- Processare dati;
- Distribuire informazioni.

VII Pilastro - Qualità: una corretta gestione della manutenzione si riflette inevitabilmente in un incremento della qualità del prodotto. La produzione infatti dipende dalla disponibilità e dalle condizioni operative delle macchine, per cui il controllo e l'accurata manutenzione di queste ultime possono incrementare il livello di qualità dei prodotti che vi vengono lavorati. Gestire la manutenzione in un'ottica di qualità, significa operare in modo da prevenire problemi e difetti attraverso la corretta gestione dei processi e delle attrezzature.

Dato che essa dipende generalmente da quattro fattori: uomini, materiali, macchine e metodi affinché si ottengano i risultati desiderati dall'implementazione di questo pilastro, è necessario aver già correttamente sviluppato i pilastri della manutenzione autonoma, dell'addestramento, della manutenzione progressiva e del miglioramento focalizzato.

VIII Pilastro - Gestione start-up/nuovi prodotti, impianti: Ha come obiettivo la definizione di un sistema di management delle fasi iniziali dei nuovi prodotti e impianti, la scoperta e la soluzione precoce dei problemi per un lancio rapido e perfetto della produzione di serie di prodotti “facili da fabbricare” e di impianti “facili da usare”.

3.2.2 Efficienza totale di impianto (OEE)

Come già citato nel I° pilastro “Miglioramento continuo”, l’approccio “totale” della tecnica TPM è dimostrato anche dall’introduzione di un nuovo parametro per il controllo delle prestazioni del sistema di produzione: l’indice di efficienza totale (Overall Equipment Effectiveness - OEE). Questa grandezza supera il concetto della semplice disponibilità delle attrezzature prevedendo il calcolo di parametri relativi alla velocità di funzionamento delle macchine e della qualità del prodotto in uscita dal sistema.

In particolare, l’OEE viene calcolato attraverso la seguente formula: (*Figura 3.3*)

$$OEE(t) = A(t) \cdot PE(t) \cdot QR(t)$$

Dove:

$$A(t) = \textit{Availability} - \textit{Disponibilità al tempo } t.$$

Si tratta del

Si tratta del tradizionale indice di Availability come definito nella teoria affidabilistica. Nella pratica spesso viene calcolato in maniera approssimativa attraverso il rapporto fra il tempo di funzionamento (loading time - LT) in cui la generica macchina può compiere la propria missione e il tempo complessivo di presenza della stessa nello stabilimento (opening time - OT).

Il tempo di funzionamento è ottenuto come differenza tra tempo complessivo (in cui l’impianto è teoricamente utilizzabile- opening time) e i tempi di fermata (sia di tipo programmato, sia di tipo a guasto, sia dovuta ai setup ed agli avvenimenti di produzione). In simboli:

$$A(t) = \frac{LT}{OT} = \frac{OT - T_{fermata}}{OT}$$

dove:

$T_{fermata}$ tempo di fermata (per guasti, fermate programmate e setup);

LT tempo di funzionamento;

OT tempo complessivo (di apertura dello stabilimento).

$$PE(t) = \textit{Production Efficiency} - \textit{Efficienza delle prestazioni al tempo } t.$$

Questo parametro rapporta l'effettiva velocità (cadenza reale) con cui vengono realizzate le singole unità di prodotto con la velocità teorica prevista "a ciclo" (cadenza teorica). La differenza tra queste due velocità è da imputare a riduzioni di velocità dovute a problemi tecnici dell'impianto e alla presenza delle micro-fermate (fermate della durata di pochi secondi, spesso non dovute a guasti ma a malfunzionamenti temporanei ed accidentali).

Nella pratica, quasi la totalità degli impianti soffre del problema delle micro-fermate, ma la loro rilevazione in modo sistematico e diretto è purtroppo estremamente complessa e difficile (in questo senso la diffusione sugli impianti dei Programmable Logic Controller - PLC e dei computer industriali sta portando grandi benefici). In alternativa il calcolo del PE(t) può essere affrontato in maniera indiretta attraverso il rapporto fra la produzione effettivamente realizzata per un fissato intervallo temporale (per esempio espressa in numero di pezzi) e quella attesa, per il medesimo intervallo, secondo quanto previsto dal tempo di ciclo teorico in assenza di microfermate. In simboli:

$$PE(t) = \frac{N_{pZR}}{N_{pZA}}$$

dove:

N_{pZR} numero di pezzi realmente prodotti nell'intervallo di riferimento;

N_{pZA} numero di pezzi da produrre secondo il tempo teorico di ciclo nell'intervallo di riferimento.

QR(t) = Quality Rate - Tasso di qualità al tempo t.

Questo parametro esprime, per un determinato riferimento temporale (ad esempio il turno, il giorno lavorativo, etc..), il rapporto fra il numero di pezzi realizzati che rispettano le specifiche tecniche e qualitative previste ed il numero complessivo di pezzi prodotti

$$QR(t) = \frac{P_{sp}}{P_{tot}}$$

dove:

P_{sp} pezzi in specifica realizzati nell'intervallo temporale di riferimento;

P_{tot} pezzi complessivamente realizzati nell'intervallo temporale di riferimento.

t = istante di calcolo di riferimento (usualmente rappresenta un intervallo di tempo per il quale viene condotta l'analisi).

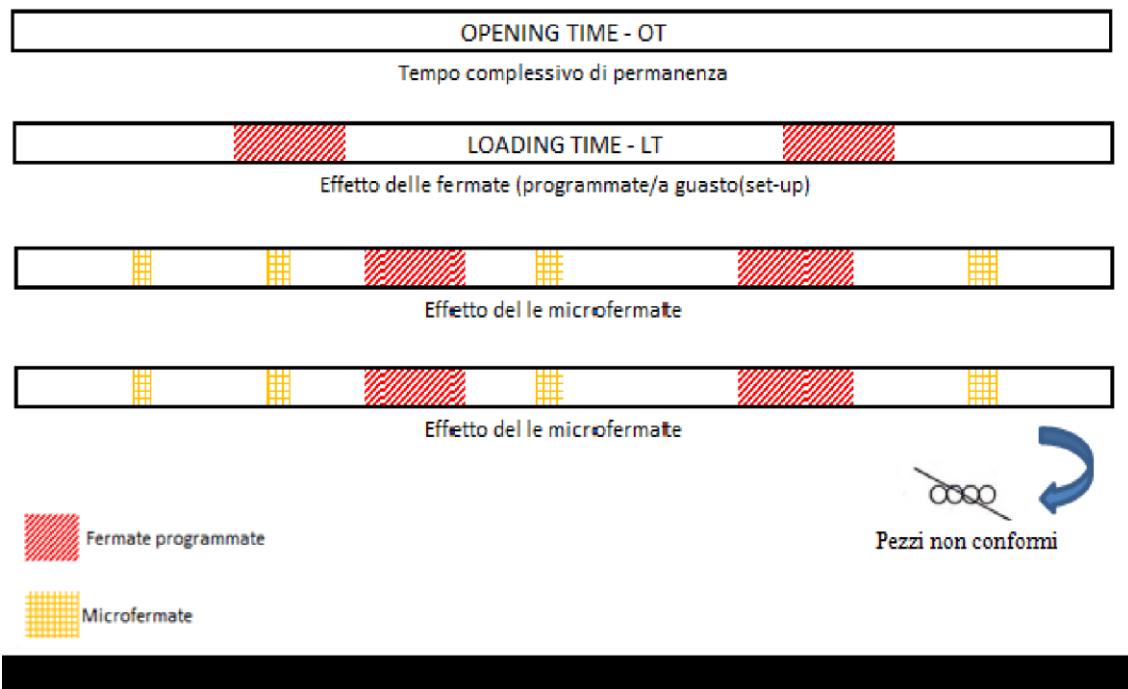


Figura 3.3: Schema di calcolo dell'indice OEE

La letteratura esistente e l'esperienza aziendale stabiliscono un valore "obiettivo" del parametro OEE prossimo a $0.85 \div 0.88$. Per quanto riguarda i singoli termini si possono prendere come riferimento: *Disponibilità* $A(t)$ maggiore di 0.90, *Efficienza delle prestazioni* $PE(t)$ maggiore di 0.95, *Tasso di qualità dei prodotti* $QR(t)$ sopra 0.99. Il parametro OEE ha il grande vantaggio di tenere in considerazione differenti aspetti in maniera simultanea. Per altro, attraverso i tre distinti fattori di cui si compone, offre la possibilità di interpretare ed analizzare più a fondo eventuali criticità, qualora si calcoli un valore di OEE non soddisfacente può immediatamente seguire l'individuazione della causa fondamentale e quindi una serie di attività mirate alla soluzione del problema.

4 Capitolo

Il contesto di lavoro

4.1 La Pfizer

La *Charles Pfizer and Company* nacque a New York nel 1849 in un edificio all'angolo tra Harrison Avenue e Barlett Street a Williamsburg (Brooklyn) ad opera dei cugini Charles Pfizer e Charles Erhardt, di origine tedesca. Cominciarono qui a produrre un antiparassitario denominato santonina; fu un successo immediato anche se fu la produzione di acido citrico che diede realmente inizio allo sviluppo della Pfizer negli anni 1880-90.

L'azienda iniziò così un processo di espansione con l'acquisto di nuove proprietà tra Bartlett Street, Harrison Avenue, Gerry Street e Flushing Avenue per l'ampliamento del proprio laboratorio e fabbrica. Ancora oggi quella sede è utilizzato per scopi di retrobottega.

L'azienda, con le sue due sedi di New York e Chicago, nell'Illinois (sede aperta nel 1882), diventò l'azienda leader del settore chimico-farmaceutico affacciandosi al ventesimo secolo decisa a fronteggiare le sfide di un mercato sempre più competitivo.

Nel 1910, le vendite ammontavano a quasi 3 milioni di \$ e Pfizer si consolidò come azienda leader nella tecnologia della fermentazione. Queste capacità furono applicate alla produzione in serie di penicillina durante la Seconda guerra mondiale, in risposta all'appello del governo degli Stati Uniti. L'antibiotico utilizzato per curare i soldati alleati feriti, divenne presto conosciuto come il "farmaco miracoloso" e la maggior parte della penicillina usata dalle truppe nel D-Day fu prodotta dalla Pfizer. Riconoscendo che la penicillina era solo l'inizio di un'era di scoperte chimico-farmacologiche senza precedenti, Pfizer iniziò un'intensa ricerca per trovare nuovi organismi in grado di combattere le malattie batteriche e il centenario di Pfizer coincise proprio con la messa a segno di un altro successo epocale: la scoperta di un nuovo antibiotico ad ampio spettro, il Terramycin.

Questo fu il primo prodotto farmaceutico venduto negli Stati Uniti con l'etichetta Pfizer; infatti fino ad allora, l'azienda aveva venduto i propri prodotti all'ingrosso ad altre società che li commercializzavano con il loro nome.

Dopo la Seconda guerra mondiale, a partire dagli anni '50, vennero aperte nuove filiali in tutto il mondo: Belgio, Brasile, Porto Rico, Canada, Cuba e Inghilterra.

Nel 1952, inoltre, Pfizer iniziò la costituzione di un settore agricolo inaugurando la Divisione per l'Agricoltura, con la sua prima struttura di ricerca a Terre Haute, nell'Indiana, pensata per offrire soluzioni efficaci ai problemi di salute degli animali.

La strategia di Pfizer di avere Centri di Ricerca in tutto il mondo si rivelò vincente.

Il 1992 fu l'anno di una formidabile "tripletta". Pfizer commercializzò, infatti, tre tra i più importanti farmaci degli ultimi vent'anni: Zoloft (sertralina cloridrato), per il trattamento della depressione, Norvasc (amlodipina besilato), per il controllo dell'angina e dell'ipertensione, e Zithromax (azitromicina diidrato), contro le infezioni della pelle e dell'apparato respiratorio.

Nel 1998 la Pfizer lanciò negli Stati Uniti un altro prodotto di grande successo: il Viagra (sildenafil citrato).

Nel 1999 Pfizer festeggiò il suo 150esimo anniversario.

Il ventunesimo secolo si apre per Pfizer con un'importante fusione: acquista la Warner Lambert, il nono gruppo farmaceutico americano.

Nel 2002, Pfizer lancia Vfend (voriconazolo), un trattamento contro le infezioni da funghi, mentre il 2003 scandito da una fusione epocale (quella tra Pfizer e il gruppo americano-svedese Pharmacia) e dal lancio di un nuovo farmaco, Relpax (eletriptan HBr), indicato nel trattamento dell'emicrania.

Il 2005 è l'anno di Lyrica (pregabalin), il primo trattamento approvato dalla Food and Drug Administration FDA (Ente statunitense che presiede alla regolamentazione dei prodotti alimentari e dei farmaci.) per il trattamento di due diverse forme di dolore neuropatico associato a neuropatia diabetica periferica, la nevralgia post-herpetica e come terapia aggiuntiva negli adulti con attacchi epilettici parziali.

Il 2006 è l'anno del Sutent (sunitinib maleato), un nuovo trattamento orale per combattere il tumore stromale del tratto gastrointestinale (GIST) e il carcinoma renale metastatico (MRCC).

Nello stesso anno arriva anche Champix (vareniclina), un farmaco su prescrizione medica per aiutare a vincere definitivamente la dipendenza dal fumo.

Nel 2010 acquisisce la Whitehall tedesca produttore di farmaci OTC, la King Pharmaceuticals per 3,6 miliardi di \$ ed il 40% del gruppo brasiliano Teuto Brasileiro SA al fine di potenziare la propria posizione sul mercato brasiliano, con un portfolio di prodotti di oltre 250 molecole.

Infine, il 7 settembre 2011 la Pfizer acquista la Ferrosan, azienda specializzata nella produzione di supplementi dietetici e molto presente nelle regioni del Nord Europa.

Pfizer è l'azienda farmaceutica che investe di più in ricerca e sviluppo e ha un portafoglio prodotti ampio e diversificato, che comprende oltre 600 molecole.

Ad oggi, la sede principale di Pfizer è a New York, mentre i suoi centri di ricerca sono dislocati in varie nazioni, soprattutto negli Stati Uniti e i suoi prodotti raggiungono più di 150 paesi. [12]

4.2 Pfizer Italia

Pfizer, presente in Italia dal 1955, è una realtà industriale molto importante nel Paese, con un fatturato 2015 di circa 1 miliardo di euro e 3000 dipendenti. La sede principale è a Roma, dove ospita, oltre agli uffici amministrativi, un'unità di business a livello europeo. A Milano si trovano uffici internazionali della Farmacovigilanza e della Regulatory Strategy, un gruppo di ricerca di sviluppo clinico oncologica a livello globale. A queste strutture, si affiancano i quattro stabilimenti di produzione di Liscate (Milano), Ascoli Piceno, Aprilia (Latina) e di Catania, con importanti volumi di esportazione a livello mondiale (Figura 4.1).



Figura 4.1: Gli stabilimenti Pfizer in Italia

4.3 Il sito produttivo Pfizer di Ascoli Piceno

Il sito Pfizer di Ascoli Piceno è uno dei poli produttivi di eccellenza nel panorama farmaceutico mondiale, fortemente specializzato nella produzione di compresse solide orali. La forte innovazione delle tecnologie implementate, le forti competenze nella produzione di farmaci “a forte impatto e alto profilo farmacologico”, soprattutto in oncologia e nei disturbi mentali, nonché il livello professionale dei propri dipendenti, garantiscono la competitività del sito e lo posizionano come uno dei principali fornitori chiave per Pfizer.

Il sito di Ascoli Piceno serve più di 100 mercati. La fetta di mercato più grande è quella europea (29%) in cui non va però ricompresa quella italiana (ulteriore 17%). Poi ci sono i mercati CEER (Central and Eastern Europe Region, 14%), asiatico (20%), americano (4%), Afme (Africa e Medio Oriente, 6%), Usa (9%).

Dunque, oltre il sessanta per cento della produzione è destinato ai mercati esteri e pertanto le procedure ed i processi sono allineati agli standard più rigorosi imposti dalle normative internazionali ed in particolare dalla FDA statunitense.

Tra i più importanti prodotti Pfizer che vengono realizzati nello stabilimento di Ascoli Piceno troviamo il Detrusitol, il Medrol e lo Xanax; in particolare alcuni farmaci, come l’Aromasin e il Sutent, sono prodotti unicamente in questo stabilimento per l’intero mercato mondiale.

4.4 Storia dello stabilimento Pfizer di Ascoli Piceno

Lo stabilimento di Ascoli Piceno è nato nel 1972 come polo produttivo della Carlo Erba Conte Visconti di Modrone, con un organico di 60 dipendenti ed una produzione limitata al mercato italiano.

Nel 1979 l’azienda è stata fusa con la Farmitalia del Gruppo Montedison ed entrambe, nel 1993, sono state acquisite dal gruppo svedese Pharmacia. Nel 1995 c’è stata l’acquisizione di Farmitalia-Carlo Erba da parte di Kabi-Pharmacia e nascita del gruppo Pharmacia. In seguito alla fusione con l’Upjohn Company, nacque la Pharmacia & Upjohn (P&U). Nel 2000 P&U si fonde con Monsanto/Searle prendendo il nome di Pharmacia Co.

Infine, nel 2003, Pfizer acquisisce Pharmacia e a partire da dicembre 2005, il nome dell’azienda fu cambiato in Pfizer Italia Srl.

4.5 La struttura

Pur risalendo al 1972, il complesso produttivo è uno dei più avanzati dal punto di vista tecnologico e sul piano dell'architettura industriale. Negli anni, infatti, sono stati effettuati importanti interventi di ammodernamento degli impianti, di introduzione di nuove tecnologie e di estensione dei servizi (*Figura 4.2*).

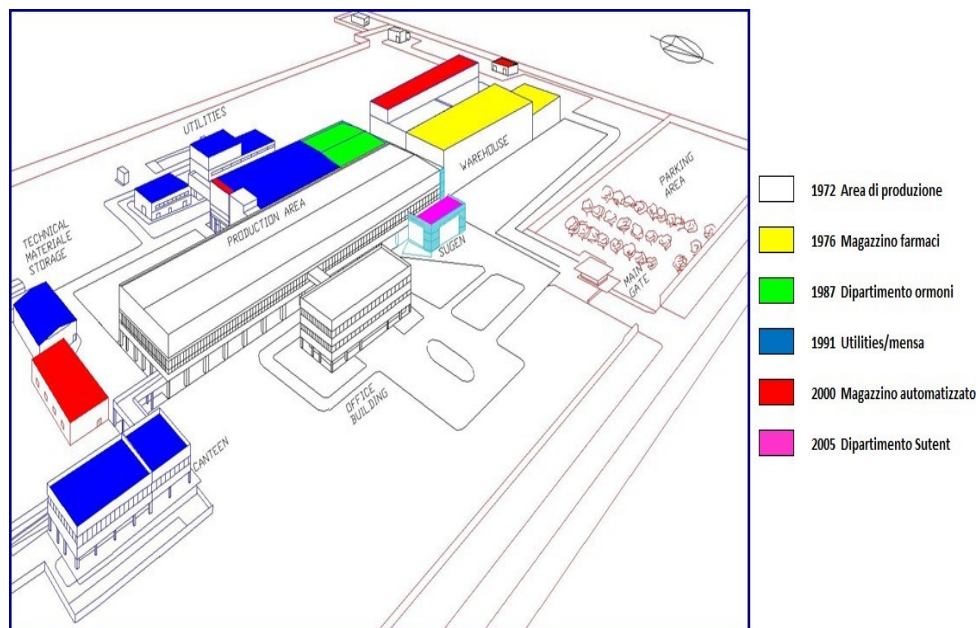


Figura 4.2: Evoluzione storica dello stabilimento Pfizer di Ascoli Piceno

Lo stabilimento Pfizer di Ascoli Piceno occupa una superficie totale di 164000 metri quadrati, di cui 42000 coperti da impianti, magazzini ed altre strutture, e 60000 metri quadrati di terreno utilizzabile.

Gli ampi spazi, destinati ai reparti produttivi ed ai servizi, consentono il più rigoroso rispetto delle norme di buona fabbricazione e la movimentazione delle materie prime e dei prodotti finiti secondo criteri di massima razionalità. Possiede, oltre ad un magazzino interamente automatico con 13000 posti pallets automatizzati, tecnologie che consentono i più elevati livelli di automazione e il massimo controllo nella movimentazione dei principi attivi che non vengono mai in contatto con gli operatori addetti alla produzione.

Il layout dell'area di produzione è strutturato su quattro piani, in modo tale che il prodotto segua un flusso "a cascata", a gravità, nell'ottica del risparmio energetico. La materia prima, dal piano

più alto (CFL Centro Formazione Lotti: area in cui la materia prima (polvere), proveniente dal magazzino, viene dosata e suddivisa in piccoli lotti), scende ad un livello intermedio dove avviene la miscelazione della polvere. Dopodiché la miscela, pronta per essere lavorata, viene trasferita al piano inferiore. Qui avviene la produzione vera e propria del prodotto (granulazione e compressione) ed il confezionamento.

Il flusso del prodotto appena descritto è valido per la maggior parte dei farmaci, ad eccezione di quelli definiti “High Active” il cui processo produttivo avviene all’interno di un unico locale per problemi di contaminazione.

Inoltre, tutta l’area di produzione è organizzata in tre Team principali, a seconda della fase di lavorazione del prodotto o del tipo di prodotto da lavorare:

Team Manufacturing: comprende tutti i reparti che vanno dalla preparazione della polvere alla realizzazione del prodotto (compresse solide orali), ad eccezione di quelli destinati alla produzione di prodotti High-Active.

Team Packaging: comprende le linee di confezionamento del prodotto, ad eccezione di quelle destinate al confezionamento di prodotti High-Active.

Team Hi-Act: comprende tutti i reparti di lavorazione e confezionamento dei prodotti ad alta contaminazione.

5 Capitolo

Implementazione della Condition Based Maintenance (CBM)

Nel presente capitolo viene illustrato come la Condition Based Maintenance (vedi Par. 1.4.3) sia stata applicata all'interno dello stabilimento farmaceutico Pfizer di Ascoli Piceno, in particolare su di una macchina blisteratrice facente parte di una linea di confezionamento del reparto Packaging.

La selezione dei componenti o sotto assiemi della macchina da sottoporre a manutenzione predittiva è di vitale importanza per rendere l'implementazione efficace e conveniente dal punto di vista economico. Un'analisi delle criticità dei vari equipment coinvolti rappresenta una buona guida per la scelta dei componenti su cui implementare la CBM.

Utilizzando come strumento di analisi la FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) è possibile oltre che definire le specifiche funzionali dei vari componenti dell'impianto, identificare i modi di guasto con i relativi effetti di ciascun equipment valutandone quindi la loro criticità.

Prima di scendere nei dettagli però, per meglio comprendere il contesto di lavoro, verranno fornite alcune nozioni di base relativamente agli asset di cui si compone una linea di confezionamento del reparto Packaging e in particolare come è concepita una blisteratrice.

5.1 Il Blister

Prima di descrivere concretamente come è strutturata e come opera una blisteratrice, verrà spiegato brevemente cosa è un blister. Il blister è un contenitore di piccoli oggetti composto da due superfici termosaldate. Una delle due superfici deve essere formata in modo da avere degli alveoli entro i quali contenere il prodotto. Il materiale dovrà dunque essere sufficientemente deformabile. In genere si utilizza PVC o alluminio. Il rivestimento superiore invece deve essere quello attraverso cui estrarre il prodotto; i materiali utilizzati sono generalmente plastica (PVC)

carta o alluminio. La cavità contiene il prodotto mentre in corrispondenza del rivestimento superiore sono riportate informazioni sul produttore e sul contenuto.

Il blister può presentare diversi formati a seconda della grandezza e del numero delle compresse che contiene. (Figura 5.1).



Figura 5.1: Esempio di blister e astuccio

5.2 Linea di confezionamento

All'interno dello stabilimento produttivo Pfizer di Ascoli Piceno, una linea di confezionamento è generalmente suddivisa in due locali di confezionamento:

- Confezionamento primario, comprendente la macchina Blisteratrice e la Stampante Blister
- Confezionamento secondario, comprendente i seguenti macchinari principali:

Piegaprospetti, Astucciatrice, Sistema di marcatura astucci e controllo stampa e Cartonatrice.

Il processo di confezionamento parte dalla blisteratrice attraverso la quale vengono realizzati i blister contenenti le compresse e sui quali vengono stampate informazioni quali data di scadenza o numero del lotto tramite la stampante blister. Successivamente, i blister sono convogliati verso l'astucciatrice per essere confezionati all'interno di astucci. In quest'ultimi,

vengono anche inseriti i prospetti illustrativi del prodotto, derivanti dalla macchina piegaprospetti.

Dopodiché, i vari astucci formati passano all'interno del sistema di marcatura astucci e controllo stampa dove sono marcati singolarmente mediante un codice a barre.

Infine, giungono presso la macchina cartonatrice per essere impilati e confezionati all'interno di cartoni, pronti per essere spediti.

5.3 La Blisteratrice

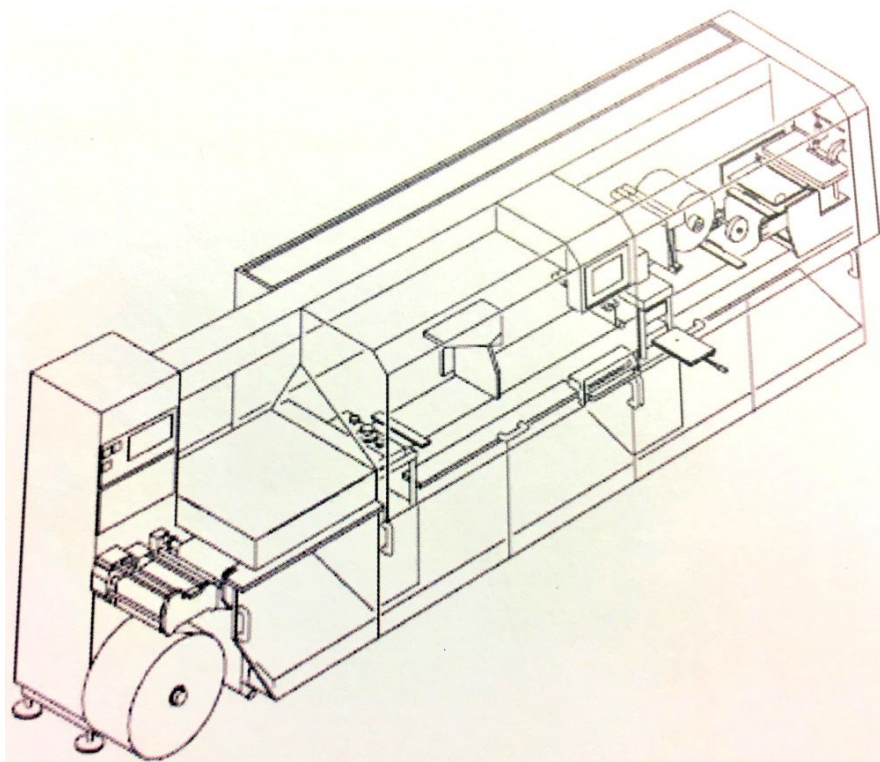


Figura 5.2: Blisteratrice

La blisteratrice (*Figura 5.2*) è una macchina automatica, progettata e concepita per l'impiego nell'industria farmaceutica secondo le prescrizioni delle direttive europee e degli standard GMP (*good manufacturing practices*), idonea a confezionare in blister prodotti di vario tipo.

Nel settore farmaceutico tale macchinario produce confezionamenti primari per farmaci solidi orali o confezionamenti secondari per siringhe, aghi, fiale, flaconcini, ecc.

Il macchinario è suddivisibile in 4 sezioni (vedi Figura 5.3):

- A. Unità di formatura
- B. Unità di traslazione pinze e caricatore
- C. Unità di saldatura
- D. Unità di taglio

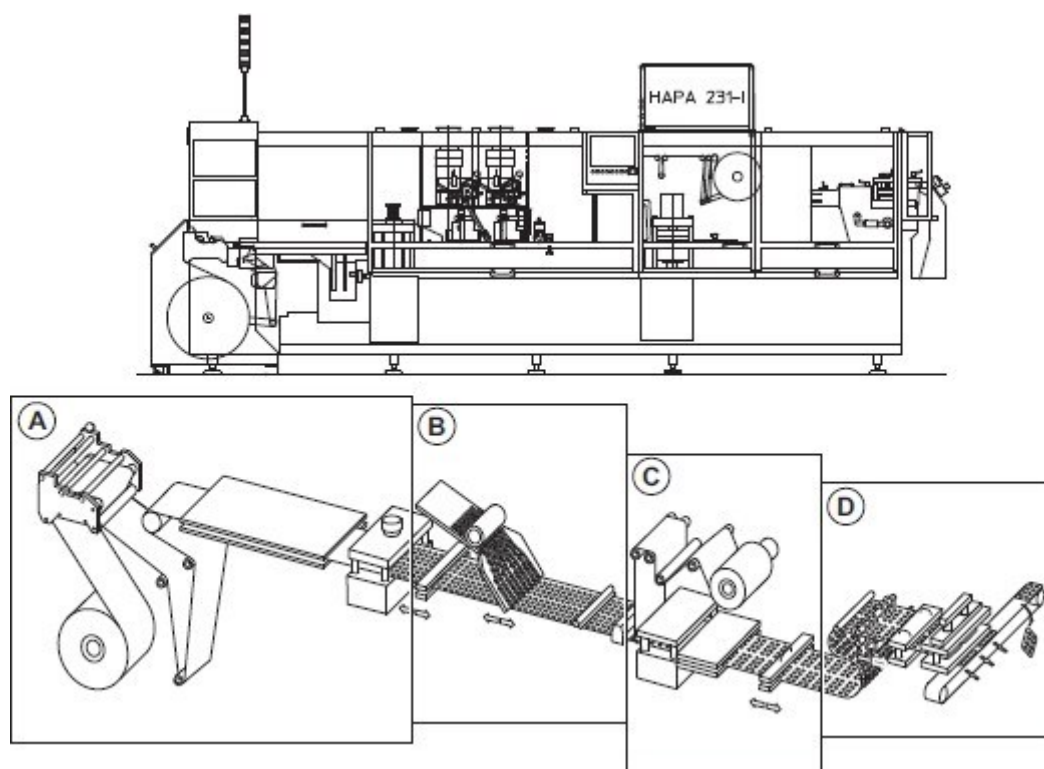


Figura 5.3: Blisteratrice divisa in 4 sezioni

La stazione di formatura ha la funzione di creare degli alveoli che alloggiavano le compresse sul film di pvc o alluminio, utilizzato per la realizzazione del blister.

La formatura avviene attraverso un preriscaldamento del film e una successiva deformazione a freddo tramite una campana di soffio. La pinza in uscita della stazione di formatura, invece, ha la funzione di traslare il materiale con gli alveoli formati verso la zona di caricamento.

Il caricatore deposita così le compresse negli alveoli e opportuni sistemi di controllo rilevano la corretta presenza del prodotto negli alloggiamenti.

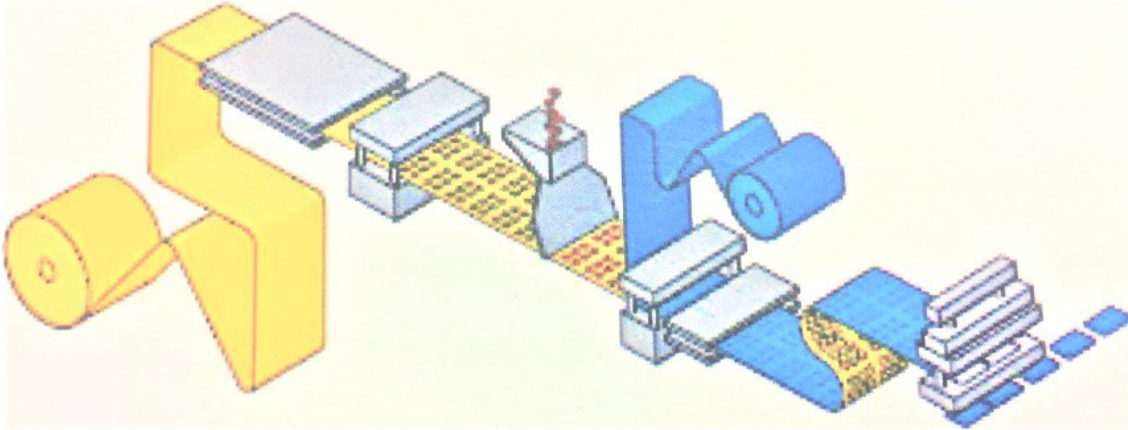


Figura 5.4: Blisteratrice con evidenziato in giallo il nastro in alluminio, in blu il nastro di copertura superiore

La stazione di saldatura ha la funzione di termosaldare il materiale di copertura con il materiale di formatura contenente le compresse. Questo sistema è costituito da una piastra superiore riscaldata da resistenze e una piastra inferiore fra le quali scorre sia il materiale formato sia il materiale di copertura. La piastra inferiore spinge il nastro con gli alveoli in alto verso il materiale di copertura e il calore emanato dalle resistenze genera la giunzione tra le due parti. A saldatura avvenuta si abbassa concedendo alla zona appena saldata di traslare di un ulteriore passo.

La stazione di taglio ha la funzione di tranciare il nastro termosaldato in blister e sminuzzare lo sfrido in piccoli pezzi che verranno convogliati e raccolti in un apposito contenitore di scarto. I blister appena tranciati verranno poi rilasciati ordinatamente sul nastro di trasferimento verso il locale di confezionamento secondario (*Figura 5.4*).

La blisteratrice oggetto di studio è una blisteratrice Partena, modello MK33 con una capacità produttiva di circa 500 blister/min. [13]

5.4 Scelta della macchina

Obiettivo di questo lavoro è la creazione di un Progetto Pilota per lo sviluppo di un piano di manutenzione predittiva online su una macchina di packaging.

Si tratta di un progetto innovativo in quanto non è mai stata sviluppata questa strategia di manutenzione su un asset di confezionamento. Infatti, questa tipologia di macchina è sottoposta a diversi cambi formato che comporta una variabilità di dati non indifferente, rendendo pertanto l'interpretazione dei risultati più complessa rispetto ad esempio allo studio di un semplice motore che ruota sempre alla stessa velocità

Nello reparto di confezionamento dello stabilimento di Ascoli Piceno sono presenti 15 linee blister e 9 bottle. La scelta è ricaduta sul modello di macchina blisteratrice più ricorrente in modo tale da poter replicare questa tipologia manutentiva ad un maggior numero possibile di sistemi.

In particolare, è stata selezionata una blisteratrice MK33 messa in funzione nel 2018, pertanto essendo già trascorsi 2 anni, si trova sicuramente nella zona di vita utile caratterizzata da un valore del tasso di guasto costante nella curva a vasca da bagno. (vedi Par. 1.5)

Come già detto la manutenzione predittiva permette di intervenire con anticipo su un potenziale guasto captando i segnali della rottura imminente dei componenti di una macchina prima che questa si verifichi.

Quindi lo scopo di questo progetto è quello di implementare un sistema di monitoraggio online in grado di acquisire determinati segnali provenienti dalla macchina generando un allarme quando tali parametri superano un valore di soglia definito critico.

I maggiori benefici auspicabili, in seguito all'implementazione della manutenzione predittiva sulla blisteratrice oggetto di studio sono:

- Incremento della disponibilità e dell'affidabilità del macchinario
- Riduzione dei guasti e quindi dei tempi di fermo macchina
- Incremento della sicurezza degli operatori
- Minori costi di manutenzione e riparazione
- Incremento della vita utile dell'impianto
- Minore necessità di pezzi di ricambio e quindi della dimensione del magazzino

- Ottimizzazione della gestione delle risorse inviando i tecnici con le parti giuste al momento giusto
- Riduzione dei tempi di attesa per la consegna dei farmaci ai consumatori finali.

Per la macchina oggetto di studio si è scelta l'implementazione dell'analisi vibrazionale in quanto, ad esempio, un'analisi termografica a infrarossi non risulterebbe efficace poiché i fenomeni termici sono fenomeni lenti, utilizzati per lo più per componenti elettrici. Infatti, prima che si verifichi un innalzamento apprezzabile di temperatura il componente si trova già in una condizione critica o si è già rotto.

L'analisi viene eseguita nel dominio delle frequenze e fa riferimento a una specifica "firma" vibrazionale della macchina nella condizione ottimale. Nel momento in cui si verifica un discostamento da questa "firma" si procede all'identificazione dell'origine del problema al fine di poter individuare le opportune azioni correttive.

Gli accelerometri piezoelettrici capacitivi risultano particolarmente adatti a questo scopo grazie a doti di robustezza e a una banda operativa adeguata a catturare gli eventi più significativi ai fini diagnostici (*Figura 5.5*).

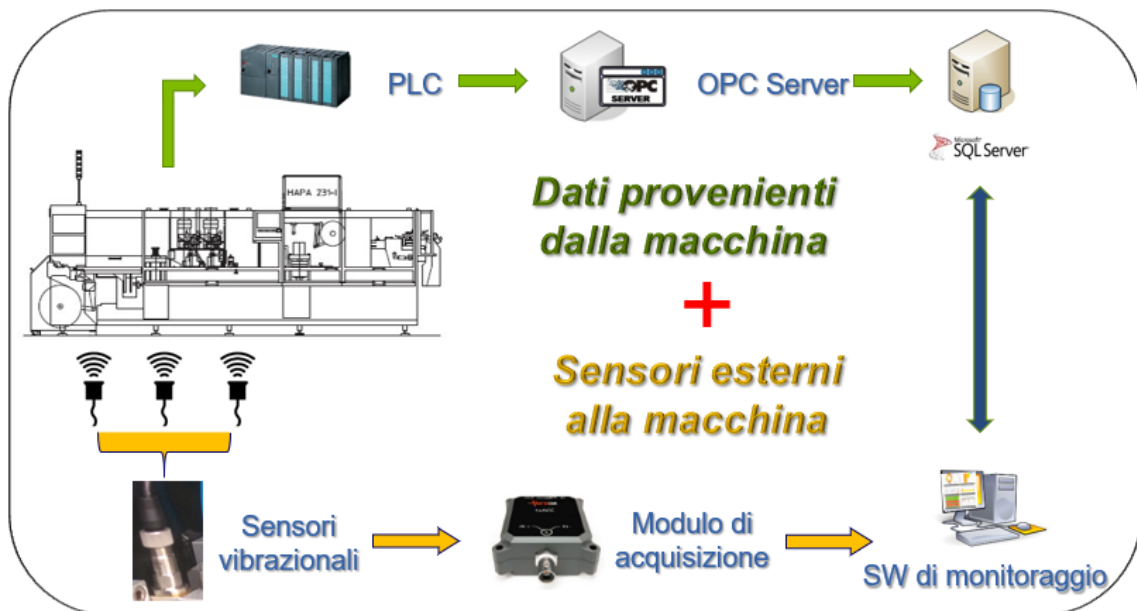


Figura 5.5: schema di funzionamento del sistema di manutenzione predittiva in esame

5.5 Installazione dei sensori

A seguito di meeting periodici con i produttori della blisteratrice (tecnici Partena) e con gli Experts dello stabilimento Pfizer si sono individuate le priorità di intervento, ovvero i gruppi funzionali dove iniziare con lo studio e applicazione dell'analisi vibrazionale.

Poiché si vuole un'analisi completa e generale della macchina sono stati individuati sei componenti/gruppi funzionali su cui sono stati installati gli accelerometri:

- Motorizzazione principale
- Sistema di traslazione pinze e caricatore (gruppo glifo - direzione orizzontale)
- Sistema di traslazione pinze e caricatore (gruppo glifo - direzione verticale)
- Stazione di saldatura (ginocchio)
- Motorizzazione/Trasmissione unità di taglio
- Sistema di presa e rilascio blister (piastra superiore)

5.5.1 Motorizzazione principale

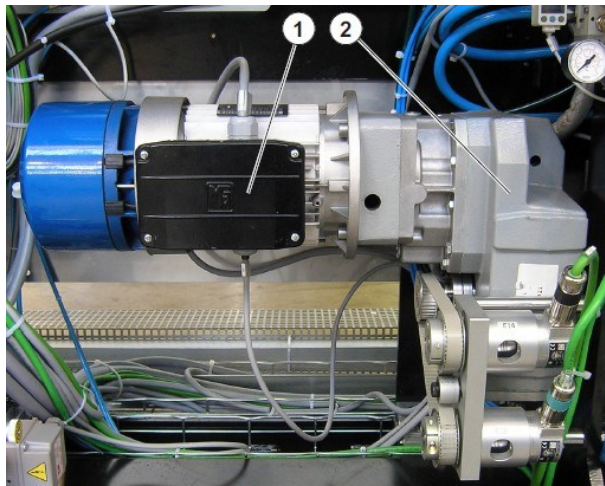


Figura 5.6: dettaglio motorizzazione principale con sensore vibrazionale

La “motorizzazione principale” (*Figura 5.6*) ha la funzione di originare e trasmettere il moto all'albero principale e alle varie stazioni della blisteratrice ad esclusione dell'unità di taglio. La motorizzazione è costituita da: [13]

- un motore asincrono trifase autofrenante (pos. 1)
- un riduttore (pos. 2)
- un inverter montato all'interno dell'armadio elettrico.

5.5.2 Sistema di traslazione pinze e caricatore blister

Il “sistema di traslazione pinze e caricatore” (*Figura 5.7*) ha la funzione di generare due movimenti alternati lineari che trasmettono il moto alle pinze mobili e al caricatore. I due movimenti sono sincronizzati in modo da avere tra i due sistemi di traslazione una velocità relativa costante. L'ampiezza del movimento alternato del sistema di traslazione corrisponde al passo macchina “P”. [13]

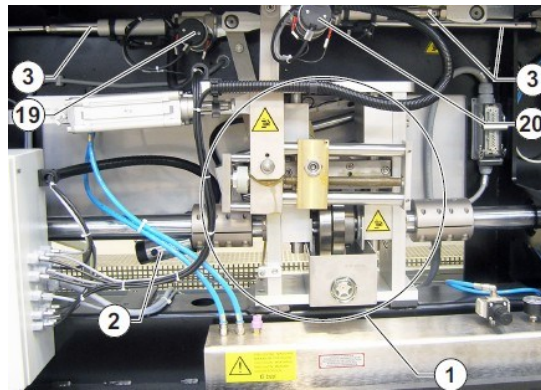


Figura 5.7: dettaglio sistema di traslazione pinze e caricatore blister con sensori vibrazionali

Il sistema di traslazione pinze e caricatore è costituito da:

- un gruppo meccanico (pos. 1) che commuta il movimento rotatorio della trasmissione principale in due movimenti alternati lineari
- un gruppo di regolazione motorizzato del passo (pos. 2)
- una serie di tiranti (pos. 3) per la trasmissione del moto alternato lineare alle pinze mobili e al caricatore
- due attuatori lineari (pos. 19 e 20) che consentono il corretto posizionamento del caricatore e della pinza all'uscita della stazione di saldatura
- un dispositivo di posizionamento utilizzato per la regolazione del passo, del caricatore e della pinza uscita stazione di saldatura.

Il sistema è governato dall'interfaccia Pannello Operatore dal quale è possibile inserire, modificare o richiamare i parametri relativi ad un formato.

Va specificato che i sensori installati controllano ognuno un solo asse di traslazione.

Per comprendere il motivo dell'installazione di due sensori sulla parte, di seguito viene spiegato ciclo macchina della parte stessa (Figura 5.8).

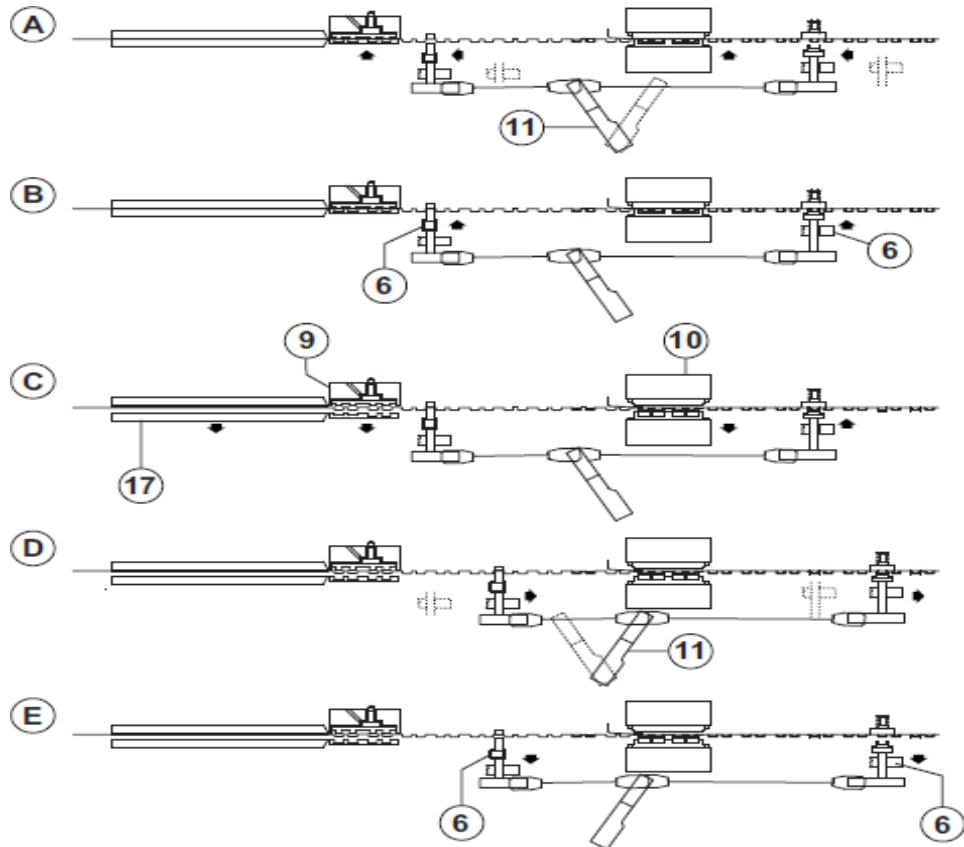


Figura 5.8: ciclo macchina

Con la macchina nella condizione di arresto in fase, il sistema di traslazione pinze e caricatore si trova in una posizione intermedia della corsa di ritorno (A).

Ad ogni ciclo:

- il sistema di traslazione (pos. 11) si porta nella posizione di fine corsa verso sinistra;
- le pinze mobili (pos. 6) si chiudono;
- gli stampi delle stazioni di preriscaldamento (pos. 17), formatura (pos. 9) e saldatura (pos. 10) si aprono;

- il sistema di traslazione (pos. 11) si porta nella posizione di fine corsa destro lato stazione di taglio consentendo al materiale di formatura e copertura di avanzare di un passo;
- le pinze mobili (pos. 6) si aprono.

5.5.3 Stazione di saldatura

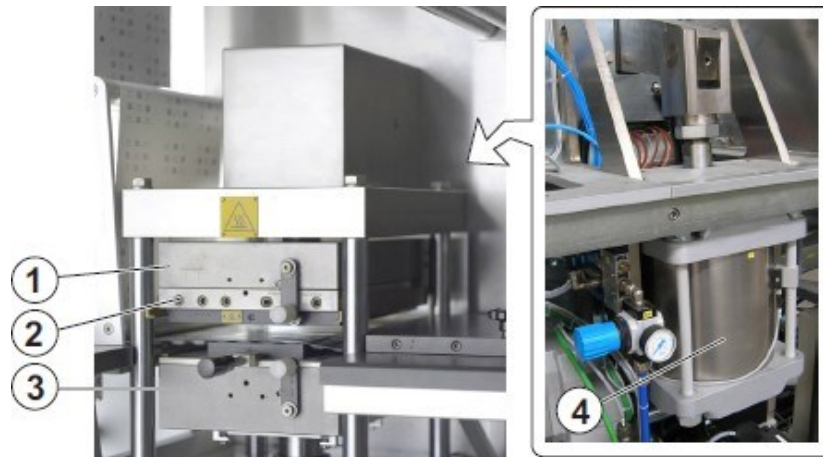


Figura 5.9: dettaglio stazione di saldatura con sensore vibrazionale

La “stazione di saldatura” (Figura 5.9) ha la funzione di termosaldare il materiale di copertura con il materiale formato. [13]

La stazione di saldatura è costituita da:

- una piastra superiore (pos. 1) riscaldata da resistenze (pos. 2) ed una piastra inferiore (pos. 3) raffreddata fra le quali scorre il materiale formato ed il materiale di copertura
- un cilindro pneumatico (pos. 4) che, durante le soste, consente alla piastra superiore (pos. 1) di sollevarsi evitando il surriscaldamento dei prodotti e dei materiali di confezionamento
- un dispositivo di sovraccarico che, nel rilevare un oggetto lasciato inavvertitamente fra le piastre della stazione, arresta in fase la blisteratrice e comanda l'immediato sollevamento della piastra superiore.

Il ciclo macchina della stazione di saldatura è così descritto (*Figura 5.10*).

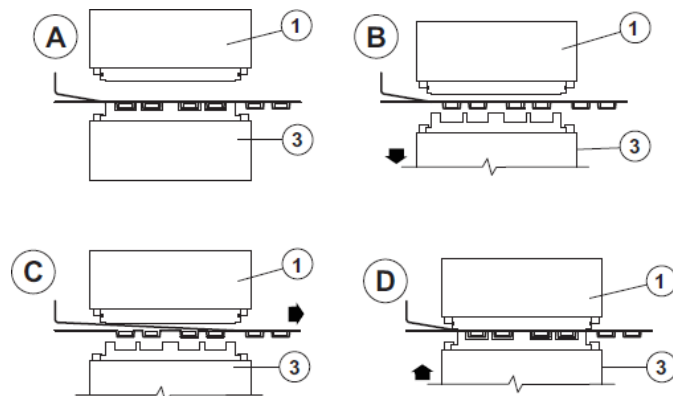


Figura 5.10: ciclo macchina stazione di saldatura

Con la macchina nella condizione di arresto in fase, la piastra di saldatura superiore (pos. 1) è distanziata dal nastro termosaldato e la piastra di saldatura inferiore (pos. 3) è a contatto del nastro termosaldato (A).

Azionando la marcia in automatico:

- la piastra di saldatura inferiore (pos. 3) è raffreddata dall'alimentazione di acqua refrigerata che scorre nelle canaline che passano all'interno della piastra;
- la piastra di saldatura superiore (pos. 1) si abbassa.

Ad ogni ciclo:

- la piastra di saldatura inferiore (pos. 3) si abbassa;
- il nastro appena termosaldato avanza di un passo;
- la piastra inferiore (pos. 3) sale a contatto con la piastra superiore (pos. 1) effettuando la saldatura del materiale di copertura con il nastro formato.

5.5.4 Trasmissione unità di taglio

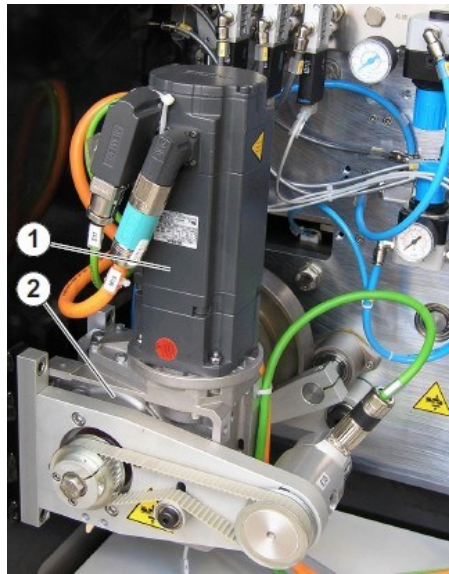
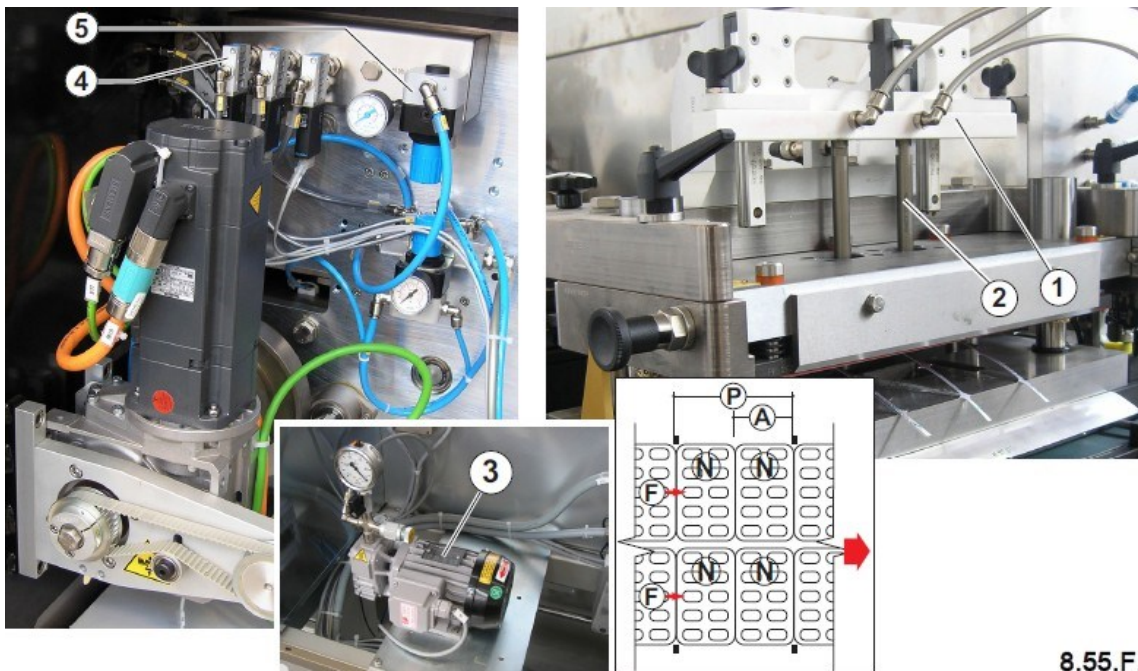


Figura 5.11: dettaglio trasmissione unità di taglio con sensore vibrazionale

La “trasmissione unità di taglio” (*Figura 5.11*) ha la funzione di originare e trasmettere il moto alla pinza mobile (terza pinza), alla stazione di perforazione o codifica, alla stazione di taglio e al sistema di presa e rilascio blister. [13] La motorizzazione è costituita da:

- un motore vettoriale trifase con freno (pos. 1)
- un riduttore (pos. 2)
- un azionamento montato all’interno della cassetta elettrica posta sotto la motorizzazione.

5.5.5 Sistema di presa e rilascio blister



8.55.F.

Figura 5.12: dettagli sistema di presa e rilascio blister

Il “sistema di presa e rilascio blister” (Figura 5.12) ha la funzione di trattenere i blister appena tranciati nella stazione di taglio e rilasciarli ordinatamente sul nastro di trasferimento. [13]

Il sistema di presa e rilascio blister è costituito da:

- un carrello di scorrimento verticale (pos. 1) sul quale sono montate le ventose di presa e rilascio blister (pos. 2);
- una pompa a vuoto (pos. 3) o il circuito del vuoto centralizzato che permettono la presa dei blister alle ventose (pos. 2);
- tre elettrovalvole (pos. 4), ciascuna delle quali comanda la ventosa di una fila “F” di blister, ed un regolatore di pressione (pos. 5) che permettono il rilascio ordinato dei blister sul nastro di trasferimento;
- un vacuostato (se in dotazione) che, in caso di vuoto insufficiente, arresta in fase la blisteratrice e visualizza un messaggio di allarme.

Il sistema di presa e rilascio blister esegue, ad ogni ciclo macchina, un numero di cicli pari al numero “A” di file di blister presenti all’interno di un passo macchina “P”.

Il ciclo di presa e rilascio blister della stazione è così descritto (Figura 5.13)

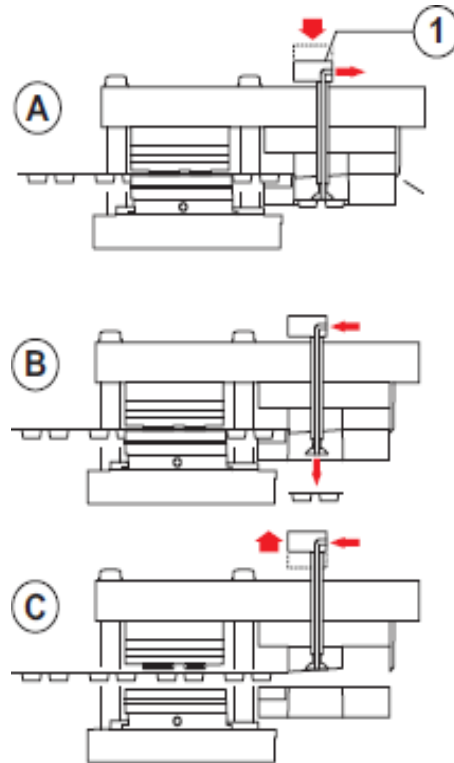


Figura 5.13: ciclo macchina

Alla partenza della macchina la pompa (pos. 3) o il vuoto centralizzato si attivano. Ad ogni ciclo:

- Il carrello di scorrimento verticale (pos. 1) si abbassa e le tre elettrovalvole (pos.4) si portano nella condizione di vuoto attivato facendo trattenere alle ventose i blister tranciati;
- Le tre elettrovalvole (pos. 4) si portano in successione nella condizione di soffio attivato comandando il rilascio progressivo dei blister sul nastro di trasferimento;
- Il carrello di scorrimento verticale (pos. 1) si alza.

5.6 Analisi dei dati

Inizialmente sono state individuate le firme vibrazionali di ogni canale e quindi per ogni gruppo macchina, così da avere una rappresentazione visiva di ciascun componente in termini di

frequenze generate dalle vibrazioni, utile per riconoscere le eventuali anomalie che dovessero verificarsi.

Il monitoraggio e il trend delle vibrazioni si basano sul presupposto che ogni equipment ha una propria “firma” vibrazionale naturalmente corretta. Questa firma deve essere rilevata quando la macchina è in buone condizioni in modo che le misurazioni successive possano essere confrontate con quella che è considerata la norma. Man mano che i componenti subiscono un processo di usura e deterioramento, gli spettri di vibrazione cambiano. In questo modo l'analisi dei possibili discostamenti può fornire una correlazione diretta tra le condizioni meccaniche e i dati di vibrazione registrati permettendo di identificare gli equipment che richiedono ulteriore monitoraggio, riparazione o sostituzione.

Durante tutta questa fase di analisi si è comunque mantenuta la manutenzione preventiva ciclica in modo da garantire un corretto funzionamento del sistema e poter avere una correlazione dei dati misurati con le effettive condizioni di usura dei componenti.

Si è lavorato con la **velocità** (valori di RMS in [mm/s]) del segnale vibrazionale, come misura chiave per valutare l'entità delle vibrazioni. Questa velocità è la variazione temporale dello spostamento e dipende sia dallo spostamento stesso che dalla frequenza. È correlata alle caratteristiche di fatica della macchina. Maggiore è lo spostamento e la frequenza di vibrazione, maggiore è la gravità della vibrazione. La velocità viene utilizzata per valutare le condizioni della macchina nella gamma di frequenza di 10–1000 Hz.

Nella fase iniziale sono stati settati dai tecnici dei valori soglia a dei valori comuni a tutti i gruppi macchina, precisamente: 3 [mm/s] come soglia di preallarme e 8 [mm/s] come soglia di allarme.

Questo è apparso alquanto inverosimile già dalle prime osservazioni a causa della grande differenza di sollecitazioni a cui sono sottoposti i vari canali nel loro normale funzionamento.

Si è andato così ad analizzare il range di variazione del segnale vibrazionale quando la macchina girava a vuoto (senza prodotto) e soprattutto quando non sono stati segnalati particolari guasti o malfunzionamenti. Tali valori sono risultati per la maggior parte nettamente al di sotto della soglia fissata, come si può vedere nella schermata sottostante (*Figura 5.14*)

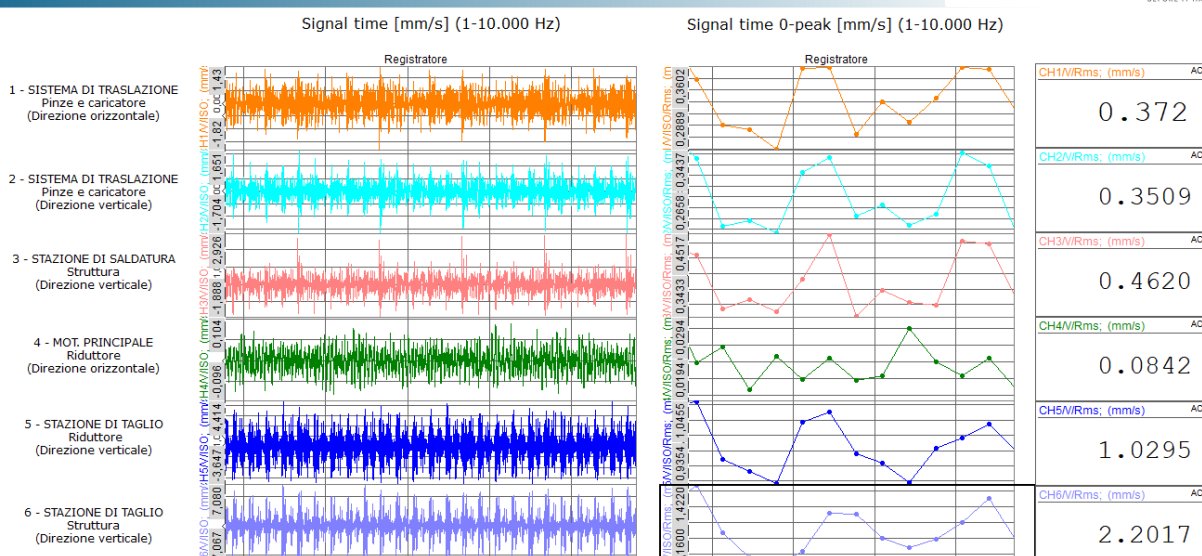


Figura 5.14: Dashboard del software fornito quando la macchina girava senza prodotto

Dall'analisi del tracciato ci si può rendere conto che i valori soglia settati dai tecnici dovevano essere aggiornati, soprattutto guardando il gruppo 6 in cui anche in assenza di prodotto le vibrazioni registrate si avvicinavano al valore soglia di pre-allarme (3 mm/s).

Si è poi proceduto ad analizzare le variazioni degli spettri vibrazionali a pieno regime lavorativo in modo tale da evitare falsi allarmi sia in presenza di prodotto sia cambiando i vari formati processati dalla macchina.

Dopo aver osservato sul campo tali registrazioni e parlando con gli operatori e i manutentori più esperti è emerso che cambiando il formato sulla blisteratrice le firme vibrazionali aumentavano o diminuivano.

Da un confronto con gli operatori si è deciso, in accordo anche con il supporto dei tecnici più esperti, di modificare tali valori soglia rendendoli più appropriati per ogni gruppo macchina al formato più critico ovvero quello con la firma vibrazionale maggiore.

Sulla base delle osservazioni fatte in campo si sono fissati così i valori soglia di preallarme a circa +10% dal valore più alto registrato che non ha portato a particolari non conformità e la soglia di allarme a circa +20%.

Nel dettaglio, si è deciso di fissare le soglie come segue:

	Soglia pre-allarme (gialla) [mm/s RMS]	Soglia allarme (rossa) [mm/s RMS]
Gruppo 1	0,5	0,7
Gruppo 2	0,5	0,7
Gruppo 3	3,0	4,0
Gruppo 4	3,0	8,0
Gruppo 5	2,0	3,0
Gruppo 6	8,0	10,0

Tabella 5.1: Settaggio soglie di preallarme e di allarme

Impostando questi nuovi valori soglia e monitorando attentamente i risultati vibrazionali per un certo periodo di tempo, non ci sono state segnalazioni di allarme nonostante la manutenzione preventiva ciclica abbia riscontrato anomalie: le cinghie del motore principale erano tutte usurate e le pulegge disallineate. Ciò è dovuto al fatto che in questo caso la macchina era impostata ad un formato che processava i blister alla velocità minima.

Infatti, impostando la soglia nella condizione più critica i leggeri aumenti di vibrazione dovuti a modeste anomalie non venivano catturati dal sistema in quanto risultavano sempre al di sotto della soglia impostata basandosi su un altro formato.

Nel dettaglio si è proceduto ad un cambio di strategia, andando a studiare e analizzare i componenti della macchina più critici in modo da concentrare lo studio su un unico gruppo funzionale e considerare contemporaneamente la variabilità del cambio formato.

Nello specifico è stata applicata la FMEA. (Alla fine del capitolo ne è riportata una sezione)

5.7 Analisi FMEA

Il primo passo da realizzare nella tecnica FMEA consiste nella scomposizione del prodotto o sistema in esame in sottosistemi elementari. A questo punto, nell'analisi dei guasti di ogni sottosistema, occorre:

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

L' RNP (Risk Priority Number) o l'IPR (Indice Priorità di Rischio) è un indicatore che ci permette di prioritizzare i vari modi di guasto presenti nella nostra analisi FMEA al fine di capire quando è il caso di intervenire e quando invece il rischio è accettabile.

Per calcolare l'RNP è necessario parlare di Occurrence, Detection e Severity. In italiano Probabilità, Rilevabilità e Gravità.

Gli standard internazionali ci danno delle tabelle da seguire per poter imputare correttamente il punteggio per ognuno di questi indici.

L'RNP non è altro che il prodotto di questi tre indici quindi:

$$RNP = Occurrence \times Detection \times Severity$$

Occurrence

Indica la probabilità che un determinato modo di guasto accada. Si tratta in tutto e per tutto di una analisi di fattibilità. A volte è difficile stimare questo indice soprattutto se non abbiamo altre FMEA di riferimento su cui appoggiarci. Altre volte è solo questione di buon senso, altre bisogna prendere in esame le procedure e i metodi già implementati in azienda che possono influire sulla probabilità di accadimento.

Detection

Indica la probabilità che il modo di guasto venga intercettato una volta avvenuto. Più è alto l'indice più è probabile che l'eventuale difetto non venga intercettato e arrivi al cliente.

Severity

Indica la gravità del modo di guasto. Una prima indicazione ci viene data dal tipo di caratteristica. Infatti una caratteristica di sicurezza ha sempre come valore di severity quello più alto mentre una caratteristica critica dovrebbe avere valore subito inferiore.

Analizzando gli ordini di lavoro di manutenzione correttiva registrati sul sistema CMMS utilizzato nello stabilimento a partire dall'installazione della blisteratrice presa in esame è stato possibile quantificare l'occurrence dei vari componenti costituenti la macchina.

Per quanto riguarda la severity e la detection sono stati programmati dei meeting periodici composti da team multifunzionali per analizzare nel modo più approfondito possibile i guasti riscontrati.

Sono stati poi riportati i vari dati nel template della FMEA nella quale vengono inseriti nello specifico:

- i vari componenti
- il gruppo funzionale a cui appartengono
- la loro funzione
- tutti i possibili modi di guasto (failure mode)
- Gli effetti e le cause di tali guasti
- I valori di Severity, Occurrence, Detection e quindi del Risk Priority Number (RPN)

Andando ad ordinare per valore decrescente del RPN, si ottengono i componenti più critici dell'asset preso in esame, nel nostro caso risulta essere la stazione di taglio, il circuito di raffreddamento e il sistema di presa e rilascio blister.

A tal proposito sono stati analizzati più nel dettaglio i vari ordini di lavoro di questi gruppi funzionali considerati più critici.

- Il sistema di presa e rilascio blister è costituito da ventose che prelevano il blister appena tagliato e lo rilasciano su un sistema di movimentazione che lo porta verso il locale di confezionamento secondario. Il problema principale riscontrato e più ricorrente è stato

l'intasamento di queste ventose e delle elettrovalvole che ne comandano l'apertura e chiusura dovuto agli sfridi provenienti dal gruppo trancia.

- Per la trancia il failure mode rilevato è costituito principalmente dall'usura dei coltelli che pertanto richiedono periodiche affilature presso la casa costruttrice.
- Il circuito di raffreddamento è costituito da canaline che passano sia nella stazione di preriscaldamento sia di saldatura. All'interno delle canaline scorre il liquido refrigerante che ha la funzione di abbassare e mantenere costante ai valori impostati la temperatura in modo da smaltire il carico termico originato dalla macchina. Il problema principale che interessa questo gruppo funzionale è dato dall'ostruzione delle canaline a causa di sporco e detriti che si formano con l'avanzare del tempo.

Successivamente sono stati analizzati i dati dell'OEE della blisteratrice in questione, e a conferma dei risultati ottenuti con la FMEA, sono risultati critici gli stessi gruppi funzionali.

(Figura 5.2)

Approfondendo l'analisi sono stati confrontati i dati ottenuti anche con quelli dell'OEE delle macchine dello stesso modello MK33 rilevando più o meno sempre gli stessi andamenti.

(Figura 5.3)

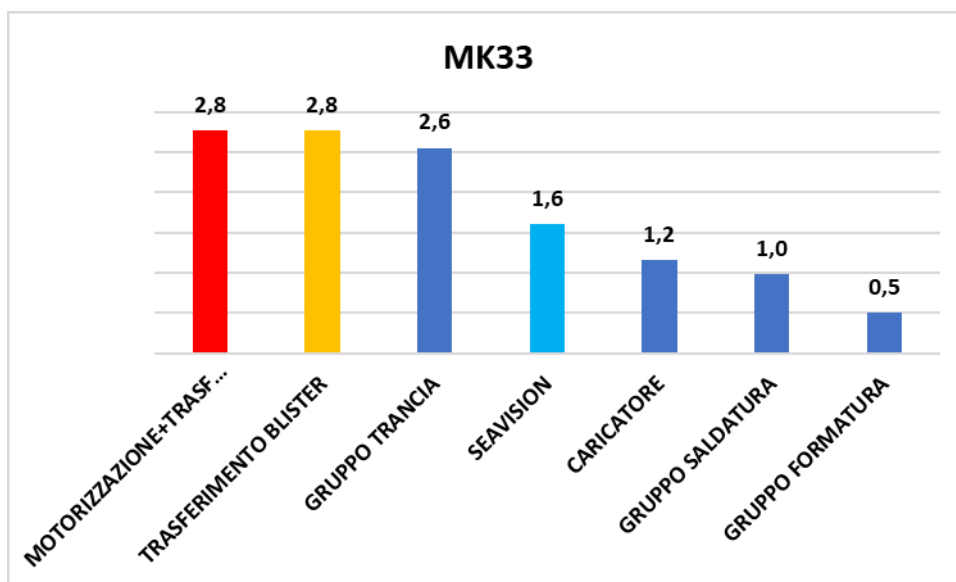
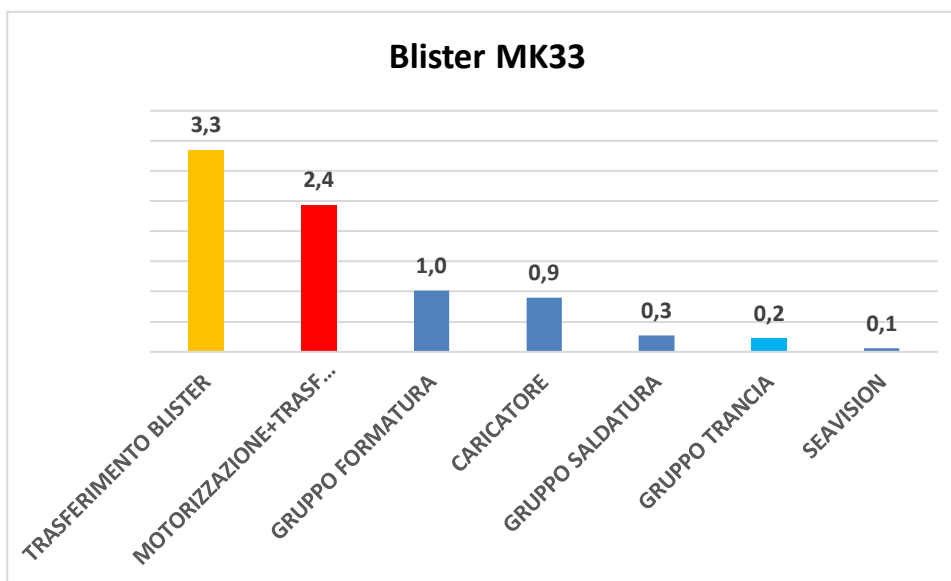
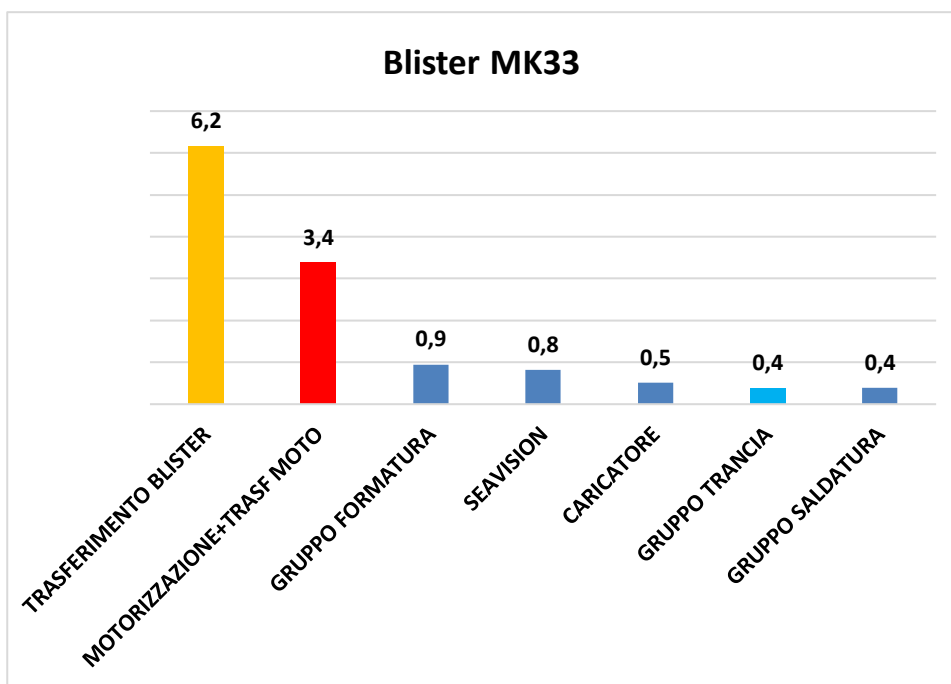
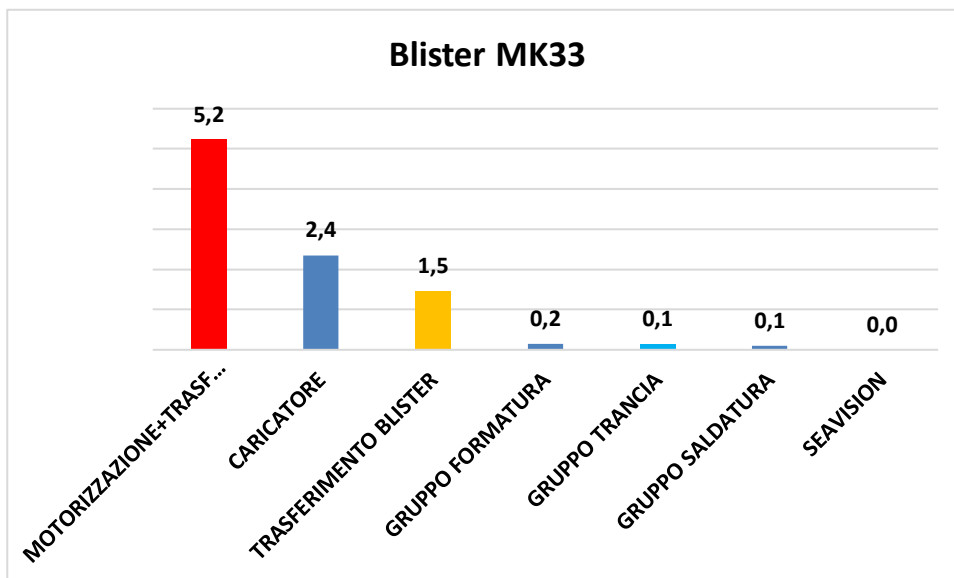
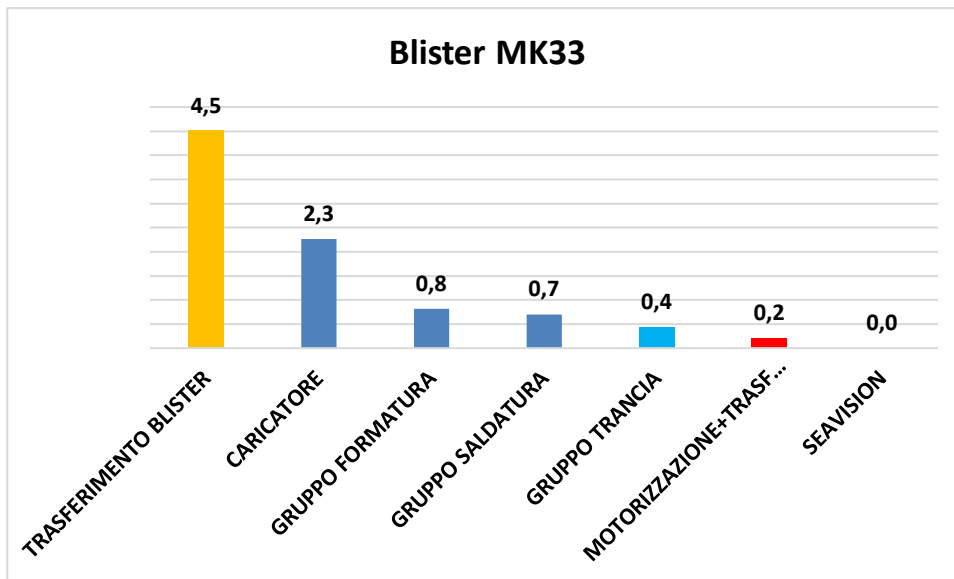


Fig. 5.2: Analisi dei dati OEE della blisteratrice MK33 oggetto di studio

Fig. 5.3: Analisi dei dati OEE relativamente alle altre blisteratrici MK33 presenti in stabilimento





Alla luce dei risultati ottenuti sono state decise le azioni future:

- Intensificare il controllo e lo studio delle vibrazioni sulla stazione di taglio
- Inserire due termocoppie sulle stazioni di preriscaldamento e saldatura e un flussostato sulle tubazioni del circuito di raffreddamento

Recentemente è stato approvato l'ordine di acquisto per una nuova trancia e ai fini di questa analisi è stato deciso di conservare il gruppo di taglio con lame usurate che si andrà a sostituire. In questo modo andando a misurare le vibrazioni di questi due assiemi (nuovo e usurato) è possibile avere dati più attendibili per lo studio delle vibrazioni considerando anche la variabilità dei formati processati dalla macchina.

Risk Analysis Grid (FMEA)

Parent Location	Component	Function	Functional Failure/ Visual Cue	Effect	Severity (1-10)	Cause Code	Occurrence (1-10)	Controls	Detection (10-1)	Risk Priority (RPN)
STAZIONE DI PERFORAZIONE	COLTELLI	Taglia il nastro in blister	Usura della lama e taglio blister non conforme, formazione di polvere che possono intasare le ventose di presa e rilascio blister	Rework (no quality loss, re-inject products in line)	8	CORR - Corrosion/Erosion/Rouging	10	CIL existing	8	640
UTILITIES	CANALINE di RAFFREDDAMENTO dentro le piastre (EUROGEL AL)	liquido che raffredda le piastre	Sporczia che altera la capacità di refrigeramento e ostruisce le canaline e gli sganci rapidi + perdita liquido refrigerante azionamento rallentato	Rework (quality loss, 'product' damage)	8	PLUG - Plugged/Choked /Fouled/Dirty	10	No active measure	8	640
SISTEMA PRESA E RILASCIO BLISTER	ELETTRIVALVOLE	Comandano l'apertura e chiusura delle ventose di presa e rilascio blister	dell'elettrovalvola (perdita prontezza di risposta dovuto a sporczia o alimentazione bobina) -- > blister o non viene prelevato o	Stoppage upstream including this machine	8	FAIL - Fails to Operate	10	No active measure	6	480
SISTEMA PRESA E RILASCIO BLISTER	VENTOSE	Prelevano il blister (appena tagliato) e lo rilasciano sul tappeto	Usura ventose, sporczia, mancanza vuoto, blister o non viene prelevato o viene rilasciato male sul tappetino che va al secondario (rilasciato storto o blister rilasciati non con il giusto distanziamento	Stoppage upstream including this machine	8	PLUG - Plugged/Choked /Fouled/Dirty	10	CIL existing	6	480
GRUPPO FORMATURA	PIASTRE FORMATURA	Creazione degli alveoli sul materiale di formatura	Mancato allineamento delle piastre e quindi trasferimento del calore non uniforme sul nastro e alveolo non conforme	Rework (quality loss, machine jamming)	8	SET - Setup issue	6	CIL existing	8	384
GRUPPO ALIMENTAZIONE COMPRESSE	DESTATIZZATORE	Deionizza le compresse in modo da togliere le cariche elettrostatiche residue e fare in modo che la compressa sia in posizione corretta nell'alveolo	Rottura	Rework (no quality loss, re-inject products in line)	8	DAMA - Damaged	6	No active measure	8	384
ALIMENTAZIONE FILM DI FORMATURA	FRENO MOTORE SVOLGITORE (pinza)	Frena l'albero ad espansione che alloggia la bobina (folle) in modo alternato così da svolgere il nastro secondo il passo macchina	Errato avanzamento del materiale di formatura dovuto a una eccessiva usura del freno e/o boccola o pressione del pistoncino che comanda il freno errata	Stoppage upstream including this machine	6	WORN - Worn/End of Life	6	CIL existing	8	288

Parent Location	Component	Function	Functional Failure/ Visual Cue	Effect	Severity (1-10)	Cause Code	Occurrence (1-10)	Controls	Detection (10-1)	Risk Priority (RPN)
STAZIONE DI PERFORAZIONE	COLTELLI	Taglia il nastro in blister	Usura della lama e taglio blister non conforme, formazione di polvere che possono intasare le ventose di presa e rilascio blister	Rework (no quality loss, re-inject products in line)	8	CORR - Corrosion/Erosion/Rouging	10	CIL existing	8	640
UTILITIES	CANALINE di RAFFREDDAMENTO dentro le piastre (EUROGEL AL)	liquido che raffredda le piastre	Sporcizia che altera la capacità di refrigeramento e ostruisce le canaline e gli sganci rapidi + perdita liquido refrigerante azionamento rallentato	Rework (quality loss, 'product' damage)	8	PLUG - Plugged/Choked /Fouled/Dirty	10	No active measure	8	640
SISTEMA PRESA E RILASCIO BLISTER	ELETTRIVALVOLE	Comandano l'apertura e chiusura delle ventose di presa e rilascio blister	dell'elettrovalvola (perdita prontezza di risposta dovuto a sporcizia o alimentazione bobina) -- > blister o non viene prelevato o	Stoppage upstream including this machine	8	FAIL - Fails to Operate	10	No active measure	6	480
SISTEMA PRESA E RILASCIO BLISTER	VENTOSE	Prelevano il blister (appena tagliato) e lo rilasciano sul tappeto	Usura ventose, sporcizia, mancanza vuoto, blister o non viene prelevato o viene rilasciato male sul tappetino che va al secondario (rilasciato storto o blister rilasciati non con il giusto distanziamento)	Stoppage upstream including this machine	8	PLUG - Plugged/Choked /Fouled/Dirty	10	CIL existing	6	480
GRUPPO FORMATURA	PIASTRE FORMATURA	Creazione degli alveoli sul materiale di formatura	Mancato allineamento delle piastre e quindi trasferimento del calore non uniforme sul nastro e alveolo non conforme	Rework (quality loss, machine jamming)	8	SET - Setup issue	6	CIL existing	8	384

SEVERITY OF EFFECTS OF FAILURE MODES			OCCURANCE OF FAILURE MODES			LIKELIHOOD OF DETECTION OF FAILURE MODES		
Effect	Criteria	Ranking	Effect	Criteria	Ranking	Effect	Criteria	Ranking
Extreme	Hazard - Danger to people or machine	10	Extreme	< 7 Days	10	Impossible Detection	No known control(s) available to detect failure modes. Impossible to detect.	10
High	Stoppage Quality Issue - Rework Impossible	8	High	7 << 30 Days	8	Remotely Possible Detection	Remote likelihood failure modes will be detected.	8
Medium	Speed loss. Starvation. Rework Required.	6	Medium	30 << 130 Days	6	Possible Detection	Moderate likelihood failure modes will be detected.	6
Low	Possible Rework Required?	3	Low	130 << 365 Days	3	Almost Certain Detection	Almost certain failure modes will be detected. Controls installed.	3
No Impact	Minor Non Conformance. No Effect.	1	No Impact	> 365 Days Never Occured	1	Certain Detection	Certain Detection. Impossible to miss.	1

6 Capitolo

Conclusioni

Il processo di implementazione della Condition Monitoring è stato presentato in modo tale da considerare differenti aspetti nella fase decisionale ed esecutiva. Proseguendo in questa analisi l'esperienza acquisita con il tempo renderà il processo sempre più facile nonostante numerosi aspetti economici e tecnici devono essere tenuti in considerazione per avere successo.

Alla luce dei risultati ottenuti le azioni future saranno le seguenti:

- Intensificare il controllo e lo studio delle vibrazioni sulla stazione di taglio
- Inserire due termocoppie sulle stazioni di preriscaldamento e saldatura e un flussostato sulle tubazioni del circuito di raffreddamento

Il progetto di manutenzione proposto è un progetto pilota che richiede tempi di implementazione e standardizzazione medio-lunghi, perciò per osservarne i risultati si rimanda a sviluppi futuri.

Gli obiettivi che si intende raggiungere sono:

- Garantire elevata disponibilità d'impianto, per conseguire un'elevata produttività che l'azienda si aspetta dalla macchina, come corrispettivo degli investimenti sostenuti per acquistarla.
- Sensibilizzare gli operatori alla risoluzione dei problemi e al mantenimento degli *asset* produttivi, con controlli ed ispezioni che rilevino in anticipo malfunzionamenti che generano fermate della macchina. Questo si potrà ottenere con un'adeguata formazione del personale ed è replicabile su qualsiasi impianto dello stabilimento.
- Snellimento del magazzino ricambi ottenuto grazie a un miglioramento della gestione delle attività di manutenzione in quanto la manutenzione predittiva avverte in anticipo sul guasto incipiente.

Nella definizione del piano non si è tenuto conto dell'entità dei costi in gioco; perciò nel tempo sarà necessario valutare i risultati raggiunti per verificare il ritorno dell'investimento ROI. L'efficacia del progetto è fondamentale per poter replicare tale metodologia sulle macchine simili presenti in stabilimento. Solo in questo modo è possibile recuperare velocemente i costi elevati dovuti all'installazione dei sensori e ai training del personale coinvolto

Bibliografia

- [1] Normativa UNI EN 13306 Manutenzione – Terminologia
- [2] Tsang A.H.C.
1998, A strategic approach to managing maintenance performance, Journal of Quality in Maintenance Engineering
- [3] Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D
2004, Progettare e gestire la manutenzione, McGraw-Hill
- [4] Furlanetto L., Garetti M., Macchi M.
2007, Ingegneria di Manutenzione: Strategie e Metodi, FrancoAngeli
- [5] Normativa UNI 10147 Manutenzione – Definizioni
- [6] Altobelli A., Soydan I., Mandelli C., Basilico C.
Project system e Maintenance system, Manutenzione, Tecnica e Management – maggio 2007
- [7] Normativa UNI 9910 Manutenzione – Terminologia
- [8] Altobelli A., Ambrosio A., Marconi C.
Ingegneria della manutenzione: Metodologia RCM – Case Study nel settore farmaceutico, Manutenzione, Tecnica e Management – aprile 2006
- [9] Moubray J.
2000, Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc.
- [10] Rausand M., Hoyland A.
2004, System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, Wiley
- [11] Overman R.
2012, CORE Principles of Reliability Centered Maintenance, CORE Principles LLC
- [12] www.Pfizer.com; www.Pfizer.it;
- [13] Documentazione interna Pfizer, manuale della macchina

Ringraziamenti

Desidero ringraziare innanzitutto il mio relatore, il Prof. Maurizio Bevilacqua, e il mio tutor aziendale l'Ing. Davide Piscione che mi hanno guidato nella stesura della tesi con suggerimenti, critiche ed osservazioni. A Loro va la mia gratitudine anche se a me spetta la responsabilità per ogni errore contenuto in questa tesi.

In questi mesi mi hanno dato la possibilità di lavorare su una tematica interessante e stimolante, facendomi conoscere e apprezzare il mondo del lavoro.

Ringrazio Andrea Conti expert meccanico del reparto di manutenzione per avermi permesso di lavorare in un clima amichevole e di essersi sempre dimostrato disponibile a fornirmi utili consigli e spiegazioni per superare i problemi che man mano ho incontrato nello sviluppo del presente lavoro.

Non posso tralasciare tutti gli altri componenti del team che mi sono stati accanto in questo periodo intenso: Luigi Amadio, Stefano Anastasi, Augusto Ciampini, Dario Fedeli, Sandro Ferretti, Daniele Funari, Giuseppe Giorgi, Renato Giuliani, Barbara Stella, Walter Titi e Riccardo Ubaldi. Li ringrazio per la loro immancabile simpatia ma soprattutto per avermi accolto nella loro squadra.

Non posso fare a meno di ringraziare la mia famiglia che mi ha sempre sostenuto anche nei momenti di sconforto. I miei genitori non mi hanno mai fatto mancare nulla e mi hanno permesso di arrivare dove sono; fin da piccola mi hanno sempre incoraggiata in tutto quello che facevo ripetendomi ogni volta che non riuscivo in qualcosa: "Annalisa, non si dice non lo so fare, perché tutto si può imparare".

Un ringraziamento ai compagni di studi, per essermi stati vicini sia nei momenti difficili, sia nei momenti felici: sono stati per me più veri amici che semplici compagni. Un grazie particolare va alle mie coinquiline Ylli e Giorgina, delle ragazze fantastiche, che considero come una seconda famiglia, senza di loro tutto questo non sarebbe stato possibile.

Ringrazio anche la mia passione, la danza, e i "Matti" e le "Budine" che ho conosciuto grazie ad essa, loro sono stati la migliore via di fuga dallo studio.

Un grazie speciale va ad Alessandro per aver condiviso con me quelle esperienze che porterò sempre nel cuore.

Infine voglio ringraziare tutti i parenti e gli amici che ho avuto vicino in questi anni ed in particolare la mia Sis compagna di avventure e di sventure., chi più chi meno hanno tutti contribuito a rendermi la persona che sono in questo momento.