

INDICE

1. INTRODUZIONE ALLA MANUTENZIONE NEGLI IMPIANTI	3
1.1 CONSIDERAZIONI GENERALI	3
1.2 OBIETTIVI ED AZIONI DELLA MANUTENZIONE	4
2. LA CLASSIFICAZIONE E PIANIFICAZIONE DELLA MANUTENZIONE	7
2.1 CLASSIFICAZIONE	7
2.2 PIANIFICAZIONE	8
3. PRINCIPI E INDICI DELLA MANUTENZIONE	11
3.1 L’AFFIDABILITA’	11
3.2 IL RATEO DI GUASTO	12
3.3 LA DISPONIBILITA’	15
3.4 LA MANUTENIBILITA’	17
3.5 CAUSE COMUNI DI GUASTO	19
4. AFFIDABILITA’ DEI SISTEMI COMPLESSI	21
5. COSTO DEL CICLO DI VITA	27
6. STRATEGIE E FUNZIONI DELLA MANUTENZIONE	29
6.1 LA STRATEGIA MANUTENTIVA	31
6.2 I TEMPI DELLA MANUTENZIONE	32

7. POLITICHE MANUTENTIVE.....	35
7.1 LA MANUTENZIONE A GUASTO O CORRETTIVA.....	35
7.2LA MANUTENZIONE PREVENTIVA.....	36
7.3 LA MANUTENZIONE PREDITTIVA	39
7.4 LA MANUTENZIONE MIGLIORATIVA	40
8. LA MANUTENZIONE PRODUTTIVA(TPM)	43
8.1 CONCETTI TOTAL PRODUCTION MAINTENANCE.....	43
8.2 I CINQUE PUNTI FONDAMENTALI DELLA TPM	44
9. INDICI GLOBALI.....	49
9.1 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS-OEE	49
9.2 OVERALL CRAFT EFFECTIVENESS-OCE.....	51
10. MODELLI DI ANALISI FMEA E FMECA.....	55
10.1 FMEA	55
10.2 FMECA	60
10.3 ESEMPIO DI ANALISI FMECA.....	65
11. CONSIDERAZIONI SU STRATEGIE E FUNZIONI DELLA MANUTENZIONE E INDICI.....	69
12. NORMATIVE	71
13. BIBLIOGRAFIA.....	74

1. INTRODUZIONE ALLA MANUTENZIONE NEGLI IMPIANTI

1.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

L'evoluzione tecnica e la continua ricerca di una maggior efficienza tecnico economica delle aziende e lo sviluppo dei processi tecnologici, hanno portato alla costruzione di apparecchiature sempre più complesse e delicate che hanno mutato l'approccio alle metodologie risolutive di alcuni problemi. Una delle questioni più sentite in questo periodo storico è legato all'esigenza di mantenere inalterata l'efficienza degli impianti e delle macchine che lo compongono ovvero della manutenzione. La manutenzione è la funzione aziendale che ha lo scopo di garantire la potenzialità, il buon funzionamento e la conservazione delle attrezzature nel periodo di funzionamento, supervisionando tutti gli impianti di produzione di beni e servizi progettando, organizzando e realizzando questa funzione.

La manutenzione moderna, concepita come servizio aziendale, si basa su alcune proprietà che la contraddistinguono rispetto ai modi di esecuzione caratteristici del periodo passato:

- Il lavoro di manutenzione, in passato prevalentemente legato al singolo evento si trasforma in lavoro programmabile
- La funzione di manutenzione, spesso slegata e spesso considerata semplicemente complementare alle attività produttive, si trasforma in un'unità responsabile caratterizzata da razionalità e competenza nonché da un forte senso di integrazione nell'attività dell'impresa
- La manutenzione oggi è chiamata a programmare, coordinare e controllare le sue attività in modo che il lavoro svolto da tutta l'impresa sia tecnicamente più completo ed economicamente più vantaggioso.

La formazione del personale assume un ruolo importante nel creare una mentalità adatta ad accettare le nuove procedure organizzative ed a renderle operativamente efficaci

- La moderna manutenzione è anche chiamata a migliorare e conservare i dispositivi che garantiscono la sicurezza e la salute del lavoratore; si rende per tanto necessaria un'opera di responsabilizzazione rivolta ad incrementare l'efficienza del servizio e la contemporanea tutela del personale

La manutenzione ha acquistato, nel corso del tempo, un'importanza sempre maggiore per i motivi sopra esposti. Il continuo evolversi della "macchina" in qualsiasi settore di produzione o di servizio, in ogni possibile fase dei processi produttivi, a livelli tecnici e tecnologici sempre più spinti ha come diretta conseguenza la necessità di interventi preventivi e correttivi del guasto che siano organizzati e la cui esecuzione sia inquadrata in schemi definiti (procedure di manutenzione). Questi metodi possono servire a contenere l'onere tecnico ed economico altrimenti sempre crescente che la manutenzione inevitabilmente comporta considerando l'attuale processo tecnologico.

1.2 OBIETTIVI ED AZIONI DELLA MANUTENZIONE

Solo recentemente si è cominciato a riconoscere alla manutenzione il compito di funzione corresponsabile del buon andamento dell'impresa e a inquadrarla con maggior precisione all'interno dell'attività produttiva. In tal senso risulta evidente l'importanza delle relazioni che un servizio complesso deve intrattenere con le altre funzioni a cui non appartiene ma con le quali è in continuo rapporto e si confronta quotidianamente in termini di efficienza ed efficacia allo scopo di raggiungere l'obiettivo comune aziendale.

Compiti e relazioni interne variano e si configurano operativamente e gerarchicamente in modo diverso in funzione delle varie realtà a cui si viene ad adoperare, a tal punto che alcune aziende che, per le operazioni di manutenzione più rilevanti sia opportuno ricorrere a personale esterno.

In generale si possono definire come seguono gli **obiettivi** e gli incarichi che un moderno servizio di manutenzione aziendale è chiamato a raggiungere e a svolgere:

- Assicurare l'esistenza ed il buon funzionamento dei sistemi di sicurezza e di prevenzione contro infortuni diretti o indiretti delle persone e delle cose, contro emissioni ambientali pericolose nei termini di quanto disposto dalla vigente legislazione in materia
- Gestire le risorse aziendali allo scopo di minimizzare i costi derivanti dalla possibile rottura e/o dalla riparazione delle risorse tecniche destinate alla produzione
- Operare con continuità allo scopo di limitare il decadimento delle prestazioni delle macchine
- Formare ed educare gli addetti alla produzione ad alcuni aspetti di correttezza e sicurezza nell'utilizzo di macchinari e responsabilizzarli nei confronti della gestione iniziale delle anomalie e dei guasti agli impianti

Il raggiungimento degli obiettivi è vincolato dalle **azioni pratiche** che la manutenzione deve porre in atto e gestire nell'eseguire il compito a cui è preposta. Alcune di queste azioni possono essere pertanto:

- Effettuare interventi correttivi, cioè a guasto avvenuto o di prevenzione del guasto stesso sul macchinario, per il mantenimento dell'efficienza, l'esecuzione di modifiche funzionali, l'aggiornamento di sistemi di sicurezza
- Organizzare e gestire gli interventi e i materiali necessari sia in termini di tempo che di priorità tecnologiche, produttive, economiche ed umane
- Riconoscere e gestire i casi in cui può essere necessario ricorrere a competenze esterne, cioè all'utilizzo di strutture e/o personale esterno al proprio per risolvere problemi di particolare importanza dimensionale o tecnologica.
- Occuparsi con continuità del miglioramento dei mezzi tecnici a disposizione attraverso revisioni periodiche che ne assicurino il corretto grado di precisione e attraverso l'eventuale definizione del momento di sostituzione
- Formare il proprio personale al corretto utilizzo degli strumenti e alla conoscenza delle macchine di cui si opera, a utilizzare la documentazione tecnica sistematicamente e a riconoscere i limiti della propria competenza
- Collaborare con tutte le funzioni aziendali coinvolte nel processo di installazione, gestione e utilizzo del macchinario allo scopo di raccogliere il maggior numero di informazioni possibili su cui basare le proprie strategie di intervento sia di instaurare un miglior rapporto umano e di collaborazione reciproca all'interno della struttura aziendale
- Gestire i riordini e le quantità delle scorte di materiali da tenere in magazzino, nell'ottica di ottimizzare sia l'efficienza dell'intervento di riparazione o di revisione.
- Mantenere una chiara e corretta memoria storica sulla natura delle azioni intraprese sulle diverse unità produttive e sulle strategie e i mezzi adottati per risolvere i problemi insorti
- Formare il personale produttivo a condurre autonomamente una prima diagnosi del guasto e risolverlo se di lieve entità, nonché all'utilizzo delle procedure per il fermo della macchina e l'inoltro della necessaria documentazione.

Il gestore del servizio di manutenzione rappresenta l'anello di congiungimento tra il personale operativo ed della squadra e il rimanente complesso aziendale. Ha la responsabilità di gestire e motivare il personale al raggiungimento dell'obiettivi, di studiare delle strategie in relazione al singolo caso da risolvere, di approntare delle

tecniche per la gestione delle risorse, di assecondare il miglioramento continuo e l'introduzione di nuovi strumenti e metodologie organizzative.

Per raggiungere gli obiettivi preposti, il responsabile dovrà quindi risolvere alcuni problemi tra cui:

- Determinare in funzione dell'ambiente operativo, le politiche di manutenzione da utilizzare
- Dimensionare opportunamente le risorse umane e tecniche in relazione alla politica adottata e alle condizioni dell'ambiente operativo
- Determinare le politiche di approvvigionamento dei ricambi in funzione della loro criticità

La figura del responsabile non è più quindi quella del semplice controllare ma assume una connotazione manageriale di rilievo sempre crescente come è crescente, anche in termini economici, l'investimento aziendale dei mezzi che garantiscono la continuità di funzionamento delle macchine

Nella realtà aziendale l'impatto della manutenzione assume questi aspetti:

- **Patrimoniale** gli impianti rappresentano immobilizzazioni di denaro molto elevati che vanno tenuti e mantenuti sempre in ordine in tutti i suoi aspetti
- **Tecnologico** il cattivo stato dell'impianto può compromettere la qualità del prodotto e/o del servizio erogato
- **Economico** la mancata produzione e la difettosità del prodotto riducono gli utili
- **Sociale/tecnologico** le attrezzature in cattive condizioni possono creare danni ed infortuni alle persone e inquinamento nell'ambiente.

2. LA CLASSIFICAZIONE E PIANTIFICAZIONE DELLA MANUTEZIONE

2.1 CLASSIFICAZIONE

Una classificazione della manutenzione può essere fatta sullo scopo e sui contenuti su cui la manutenzione attua il proprio processo ordinaria/straordinaria:

- Ordinaria raccoglie tutte quelle funzioni atte a garantire e mantenere l'integrità del bene, l'efficienza ed il corretto funzionamento attraverso politiche di manutenzione preventiva, predittiva e ciclica, che hanno quale unico scopo quello di riportare un sistema (o un suo componente) in stato di avaria, allo stato di buon funzionamento precedente l'insorgere di codesta avaria, senza modificare o migliorare le funzioni svolte dal sistema, né aumentarne il valore, né migliorarne le prestazioni.
- Straordinaria raccoglie tutte quelle funzioni non ricorrenti che riguardano il miglioramento delle prestazioni e/o dell'affidabilità. Con il passare del tempo le esigenze di prestazione aumentano, anche perché anno dopo anno, appaiono sul mercato nuovi modelli, nuove tecnologie, per cui il gestore si trova spesso nella necessità di valutare il rimpiazzo di un sistema o una sua manutenzione radicale (appunto straordinaria) al fine di aggiornarlo e di ridurre il suo grado di obsolescenza, nonché (ma è una caratteristica sempre meno importante specie nel manifatturiero leggero) aumentarne la longevità. La maggiore longevità dei sistemi, sia fisica, sia tecnologica, permette infatti di ripartire su un maggior numero di annualità i costi di acquisto, ai quali nel tempo si aggiungono anche i costi della Manutenzione straordinaria che va ad incrementare il valore patrimoniale da sottoporre alla procedura di ammortamento.

La manutenzione si sofferma maggiormente per lo studio delle politiche e delle strategie da attuare in un impianto, basandosi sugli interventi ordinari per il motivo che, un intervento ordinario può essere programmato nel tempo in base al funzionamento e all'usura mentre un intervento straordinario non è programmabile perché è condizionato da parametri che non possono essere quantificati.

2.2 PIANIFICAZIONE

Nei sistemi di produzione la manutenzione assolve il ruolo di espletare delle attività che riducano la probabilità che si verifichi un fermo della macchina e che quindi vengano mantenuti i livelli di prestazione prefissati. Le principali attività e problematiche connesse alla pianificazione e alla gestione della manutenzione si possono fondamentalmente classificare in azioni di monitoraggio (*feed-back control*), di pianificazione (*planning*) e di esecuzione/organizzazione (*organization*).

Il monitoraggio attiene principalmente al controllo dello stato dell'impianto ma anche ad un controllo di tipo gestionale delle attività intraprese (es. emissione ordine di lavoro, gestione ricambi) e al seguente rilievo di eventuali problematiche.

Sulla base del controllo o per l'improvvisa sopraggiunta necessità (per guasto) vengono attuate delle attività che in genere devono essere pianificate e successivamente eseguite. Chiaramente in corrispondenza del guasto non viene effettuata nessuna fase di pianificazione del lavoro, ma si procede subito alla riparazione. In questo caso l'intervento può essere definito ovvero di tipo "tampona" capace cioè di garantire il riavvio dell'impianto di produzione nel minor lasso di tempo possibile, rimandando l'azione risolutiva alla successiva fermata programmata.

Tutto questo sistema per poter lavorare in maniera efficace richiede una corretta organizzazione.

All'interno di ciascuna delle tre aree sopraccitate possono essere individuate ulteriori sottoattività che possono essere rappresentate secondo lo schema di Figura 1. Il punto di partenza è rappresentato dal sistema di controllo che viene operato sull'impianto industriale.

La gestione operativa del controllo supera il semplice monitoraggio delle attrezzature, dal momento che si esplica attraverso alcune attività principali:

- *plant control*. Prevede il controllo delle prestazioni affidabilistiche dell'impianto attraverso la sensoristica, attività dirette degli operatori e la successiva elaborazione dei dati;
- *work control*. Obiettivo è coordinare la domanda di manutenzione con la disponibilità delle risorse da impiegare;
- *inventory control*. Questa attività attiene al controllo della disponibilità dei ricambi e dei mezzi di supporto all'esecuzione degli impianti manutentivi;

- *cost control*. Alla manutenzione sono associati costi anche molto significativi. Fondamentalmente si possono distinguere due figure di costo: il lavoro diretto e la mancata produzione;

- *quality control*. L'attività principe del controllo di qualità consiste nel misurare alcuni attributi connessi al servizio e/o prodotto al fine di verificarne l'adeguatezza rispetto le specifiche.

Le azioni di controllo e monitoraggio dell'impianto (oltre che alle segnalazioni di guato) consentono la pianificazione delle principali attività di manutenzione. Esse sono:

- *maintenance philosophy*. Le politiche di manutenzione possono essere differenti, in genere non vi è un'unica strategia prevalente, ma si tratta della determinazione del miglior mix possibile che integra al meglio le differenti filosofie massimizzando il risultato complessivo;

- *maintenance load forecasting and capacity*. Il mix delle politiche di manutenzione può essere operato con diversi gradi di dettaglio, con l'impiego di risorse più o meno importanti. La scelta della "potenza" del servizio di manutenzione e quindi del tipo di risorse da dedicarvi richiede grande attenzione ed attente valutazioni della fattispecie reale in oggetto;

- *maintenance organization*. Le attività connesse all'operatività di un efficiente processo manutentivo sono in genere contraddistinte da una certa complessità e delicatezza. Per questa ragione vanno pianificate con precisione e magari con l'ausilio delle metodologie usualmente impiegate per la realizzazione dei prodotti (es.: *diagrammi di Gantt*, approcci *Critical Path Method – CPM*)

A valle della fase di pianificazione si devono mettere in campo attività legate all'organizzazione pratica degli interventi. La gestione organizzativa di un sistema manutentivo richiede la gestione integrata di diversi aspetti:

- *job design*. L'attività manutentiva si esplica attraverso interventi guidati da veri e propri work orders (ordini di lavoro) assimilabili a quelli tramite cui si effettuano i lanci in produzione. Detti ordini riportano informazioni sulla natura ed entità dell'intervento, la sua ubicazione e le risorse (*skills and tools*) da impiegare. Pertanto il work order rappresenta lo strumento attraverso cui si esplicano le attività di pianificazione, controllo, monitoraggio e reporting della manutenzione;

- *time standards*. Sotto questa classificazione si intendono tutte le attività di determinazione delle tempistiche per eseguire le singole azioni di cui si compone il generico lavoro di manutenzione (es.: tecniche *Method Time Measurement – MTM*);

- *work measurement*. Riguarda la fase di analisi dei carichi di lavoro e quindi la successiva costificazione degli interventi;

- *project management*. Frequentemente le opere di manutenzione si inquadrano in un disegno più ampio di rinnovo dell'impiantistica piuttosto che di investimento, e come tali devono necessariamente essere integrate con questi progetti.

L'azione di monitoraggio rappresenta il punto di partenza fondamentale per tutte le attività manutentive. Come spesso succede la conoscenza rappresenta l'elemento sul quale fondare ogni tipo di azione successiva. In ambito manutentivo questo si traduce con la necessità di misurare e programmare le prestazioni degli impianti e delle attrezzature di produzione. Dal punto di vista tecnico questa esigenza può essere efficacemente soddisfatta con il contributo offerto dalla *teoria affidabilistica*.

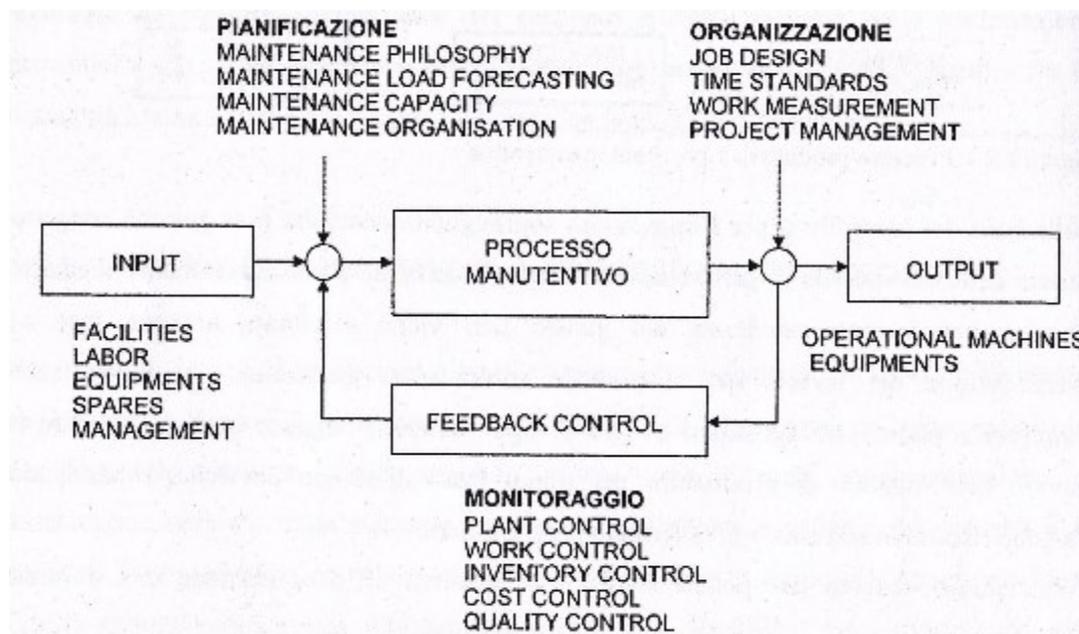


Figura1. Ciclo di un processo manutentivo

3. PRINCIPI E INDICI DELLA MANUTENZIONE

Una generica macchina viene progettata e costruita per svolgere una missione nota a priori e di cui si conoscono le caratteristiche ed i termini di tempi, di prestazioni e di costi. Il suo funzionamento, basato sulla continua iterazione tra i sottosistemi che la compongono, non è tutta via continuo nel tempo a causa delle inevitabili anomalie che insorgono nel corso della sua vita utile e che possono essere determinate da svariati fattori umani e ambientali. In questo contesto di possibile interruzione della sua funzionalità si inseriscono i concetti di affidabilità e disponibilità.

3.1 L’AFFIDABILITA’

La teoria dell’affidabilità studia il comportamento dei sistemi e dei componenti di sistema, cercando di accurarne la vita media, la capacità di sopravvivenza e la provabilità di buon funzionamento. L’affidabilità di un componente si può definire come la probabilità che il componente funzioni senza guastarsi in un intervallo di tempo assegnato, date le sollecitazioni cui è sottoposto e le condizioni ambientali in cui opera. Questa definizione presuppone:

- Che sia fissato in modo univoco il criterio per giudicare se l’elemento è funzionante
- Che le condizioni ambientali di impiego siano stabilite e mantenute costanti nel periodo in questione
- Che sia definito l’intervallo di tempo durante il quale si richiede che il componente funzioni

Da quanto detto si evince che l’affidabilità e funzione dello stato C del componente (cioè se è guasto o meno), delle condizioni ambientali e sollecitazioni A , e dal tempo t :

$$R=R(C,A,t)$$

Considerato un numero costante di componenti di uno stesso tipo, il numero di componenti vivi al tempo t e il numero di componenti guasti allo stesso istante, risulta essere:

$$N_0 = N_v(t) + N_g(t)$$

Si può di conseguenza definire l’affidabilità $R(t)$ come il rapporto:

$$R(t) = Nv(t) \cdot NO$$

E l'inaffidabilità $F(t)$:

$$F(t) = Ng(t) \cdot NO = 1 - Nv(t) \cdot NO = 1 - R(t)$$

$F(t)$ e $R(t)$, dunque, sono delle funzioni di probabilità. La densità di probabilità della inaffidabilità $f(t)$ risulta:

$$f(t) = dF(t)dt = d1 - R(t)dt = -dR(t)d(t)$$

Il prodotto tra $f(t)$ e dt , dunque, rappresenta la probabilità che il componente considerato si guasti nell'intervallo di tempo compreso tra t e $t+dt$.

3.2 IL RATEO DI GUASTO

Un'altra grandezza molto importante della teoria affidabilistica è il rateo di guasto $\lambda(t)$, che è in relazione con la probabilità condizionale $\lambda(t) \cdot dt$ che un componente sopravvissuto fino al tempo t si guasti nel tempo $t+dt$.

La probabilità condizionale, che non è una densità di probabilità, si differenzia dalla densità dell'inaffidabilità che fa riferimento all'intera popolazione dei componenti, mentre $\lambda t \cdot dt$ fa riferimento alla popolazione sopravvissuta, minore o al limite uguale alla popolazione totale.

In base alla definizione data, dunque, vale la seguente relazione:

$$\begin{aligned} \lambda t \cdot dt &= \frac{\text{probabilità guasto in } [t, t + dt]}{\text{probabilità non guasto in } [0, t]} = \\ &= \frac{\text{probabilità guasto in } [0, t + dt] - \text{probabilità guasto in } [0, t]}{R(t)} \end{aligned}$$

e quindi:

$$\lambda(t) \cdot dt = \frac{-dR(t)}{R(t)} = \frac{f(t) \cdot dt}{R(t)} = \frac{-R(t + dt) - (-R(t))}{R(t)}$$

da cui discende la seguente espressione:

$$f(t) = \lambda(t) \cdot R(t)$$

e quindi:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Ragionando in termini finiti:

$$f(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{1}{N_0} \cdot \frac{\Delta N_g}{\Delta t}$$

$$\lambda(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{1}{N_v} \cdot \frac{\Delta N_g}{\Delta t}$$

Alcuni componenti sono caratterizzati dalla cosiddetta proprietà di non memoria dal punto di vista affidabilistico. Cioè, per essi il rateo di guasto si mantiene costante nel tempo, e non dipende dal particolare istante preso in considerazione. Se il rateo di guasto è costante ne discende che la affidabilità $R(t)$ è caratterizzata da una funzione di distribuzione di tipo esponenziale. La situazione del rateo di guasto costante è visibile nella successiva Figura 2, ove è rappresentata la cosiddetta *bath tube curve* (curva a vasca da bagno).

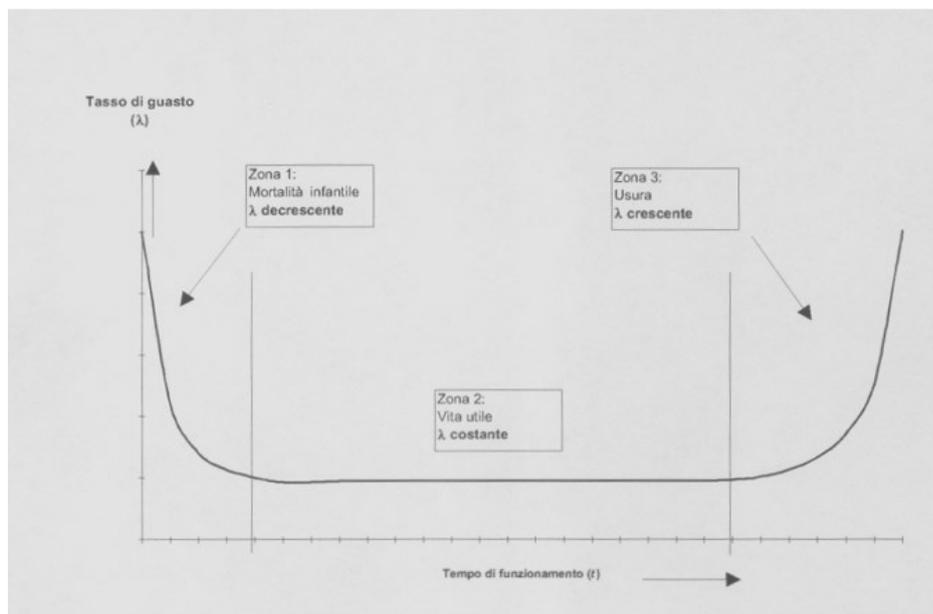


figura2. Diagramma tipico del rateo di guasto

La regione (I) è caratteristica dei componenti che sono stati malamente concepiti o progettati male (componenti meccanici/strutturali) o dei componenti che presentano difettosità nei materiali (componenti elettrici/elettronici): in questa area si manifesta il cosiddetto fenomeno della mortalità infantile. La regione (II) è caratteristica dei componenti a rateo di guasto costante, nei quali il guasto si manifesta in modo casuale (tipicamente il caso dei componenti elettronici). La regione (III) è la zona tipica dei componenti caratterizzati dai fenomeni classici di invecchiamento (usura, abrasione, erosione ecc.).

I sistemi o i componenti possono essere distinti in:

- *sistemi/componenti non riparabili*, per i quali il verificarsi del guasto rappresenta una transizione irreversibile, che viene trattata nell'ambito degli studi affidabilistici in senso stretto;
- *sistemi/componenti riparabili*, per i quali il guasto o anomalia di funzionamento rappresenta solo uno dei momenti tipici della vita del componente, al quale seguono altri intervalli di funzionamento e di non funzionamento che sono oggetto degli studi relativi alla disponibilità.

Per i sistemi o componenti non riparabili il parametro *Mean Time To Failure (MTTF)* esprime il tempo in cui si verifica il guasto, a partire dall'inizio della vita del componente al tempo $t = 0$.

Il MTTF, evidentemente, rappresenta il valore medio della distribuzione di probabilità dell'inaffidabilità $F(t)$:

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t \cdot \frac{dR(t)}{dt} dt = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

Nel caso di componenti caratterizzati dalla cosiddetta proprietà di non memoria, cioè con rateo di guasto costante, la precedente formula diviene:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

All'istante $t = MTTF$, risulta essere:

$$R(t) = R(MTTF) = e^{-1} \approx 0,37$$

cioè la probabilità che un componente funzionante all'istante iniziale ($t = 0$) non si guasti al tempo $t = MTTF$ è pari a 0,37.

Nel caso di sistemi/componenti riparabili, come già si è avuto modo di dire, gli studi si concentrano sulla disponibilità. In tali sistemi si determina un flusso di guasti e di riparazioni che danno luogo a periodi di tempo significativi dal punto di vista del sistema e dei suoi componenti.

All'intervallo di tempo MTTF già definito, fa seguito un periodo di mancato funzionamento durante il quale il sistema viene riparato: questo intervallo di tempo è noto con il nome di *Mean Down Time (MDT)* ed è la somma di altri tre intervalli temporali, individuati da altrettanti parametri:

- *LDT (Logistic Delay Time)*, tempo di arresto del componente necessario all'approntamento dei mezzi del supporto logistico (tecnici, parti di ricambio, attrezzature, documentazione);

- *ADT (Administrative Delay Time)*, tempo di arresto del componente dovuto a questioni di natura gestionale/amministrativa (priorità nell'assegnazione, scioperi, attese per l'ottenimento di autorizzazioni ecc.);
- *MAMT (Mean Active Maintenance Time)*, tempo medio richiesto per effettuare la manutenzione, che non comprende né ADT né LDT.

Una volta riparato, il sistema/componente rimane in funzionamento per un ulteriore intervallo temporale che definisce un nuovo parametro, il *Mean Up Time (MUT)*.

La somma di MUT e MDT porta alla definizione di un nuovo termine, il *Mean Time Between Failures (MTBF)*, cioè la cadenza espressa in ore di funzionamento con cui ci si deve attendere il verificarsi dei guasti (Figura 3).

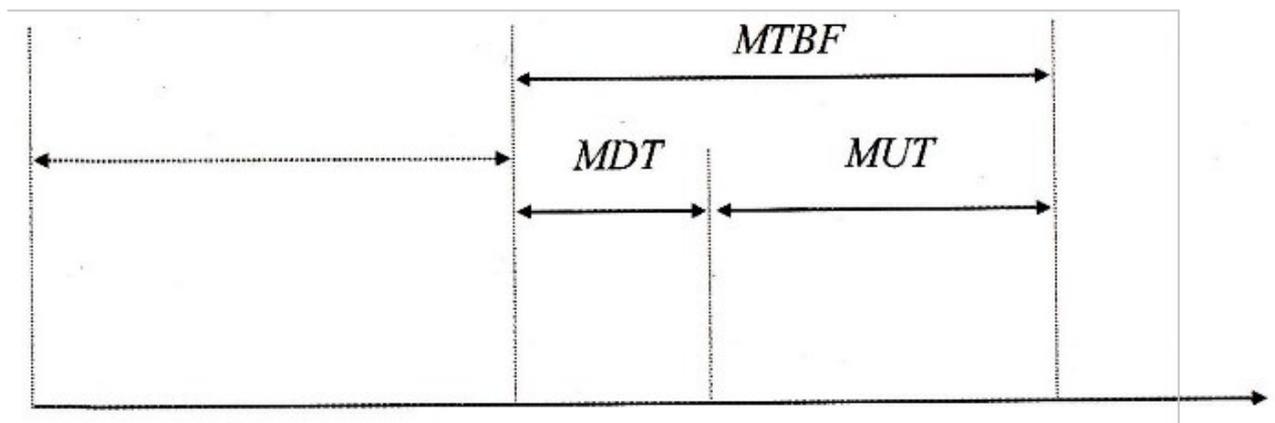


Figura3.Flusso di guasti e riparazioni nei sistemi riparabili

3.3 LA DISPONIBILITA'

La *disponibilità* $A(t)$ di un sistema/componente (riparabile) è definita come la probabilità che un componente funzionante all'istante $t = 0$ non sia guasto all'istante t considerato; essa può essere valutata come rapporto tra il tempo medio di funzionamento corretto del componente stesso e il tempo totale di attività (tempo operativo e tempo dedicato alla manutenzione).

La disponibilità si può considerare sotto tre forme diverse:

- *disponibilità intrinseca (inherent availability)*, A_i , che rappresenta la probabilità che un sistema, utilizzato sotto particolari condizioni e in un ambiente ideale di supporto (piena disponibilità di attrezzatura, ricambi, manuali d'istruzione, personale qualificato per la manutenzione ecc.), operi in ogni istante in maniera soddisfacente;

- *disponibilità operativa (operation availability)*, A_o , ovvero la probabilità che un sistema utilizzato sotto particolari condizioni e in un assegnato ambiente operativo reale, operi in maniera soddisfacente quando richiesto;
- *disponibilità raggiunta (acheived availability)*, A_a , che rappresenta la disponibilità effettivamente raggiunta, tenendo conto anche dei ritardi logistici e amministrativi.

L'andamento della funzione $A(t)$ è rappresentato nella Figura 4:

$A(t) = 1$ all'istante $t=0$

$A(t) = \frac{MUT}{MUT + MDT}$ per $t \rightarrow \infty$

come si desume dall'espressione seguente:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

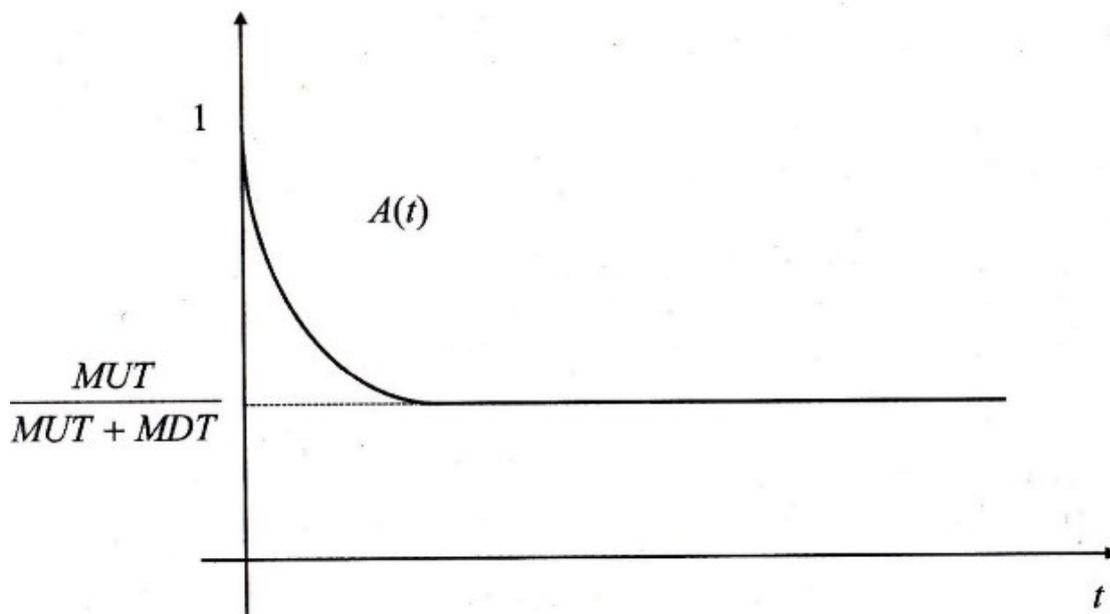


Figura4. Andamento tipico della disponibilità

Analogamente, si può definire la grandezza complementare della disponibilità, ovvero l'*indisponibilità* $Q(t)$:

$$A(t) + Q(t) = 1$$

3.4 LA MANUTENIBILITA'

Un'altra grandezza di interesse nella trattazione dei sistemi riparabili è la *manutenibilità* $M(t)$, la quale rappresenta la probabilità che il componente guasto all'istante $t = 0$ possa essere riparato all'istante t .

Vale la seguente relazione:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = 1$$

La *densità di probabilità della manutenibilità* è la funzione $g(t)$:

$$g(t) = \frac{dM(t)}{dt}$$

da cui discende un altro parametro di interesse, il *Mean Time To Repair (MTTR)*, che è il valore medio della distribuzione statistica della manutenibilità:

$$MTTR = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - M(t)) dt$$

Analogamente al rateo di guasto è possibile introdurre il *tasso di riparazione* $\lambda g(t)$, tale che $\lambda g(t) \cdot dt$ è pari alla probabilità che il componente guasto venga riparato nell'intervallo infinitesimo dt . Con una dimostrazione analoga a quella del rateo di guasto, risulta essere:

$$\lambda g(t) \cdot dt = \frac{dM(t)}{1 - M(t)}$$

Se il tasso di riparazione è costante e pari a μ , si può scrivere:

$$\mu \cdot dt = \frac{dM(t)}{1 - M(t)}$$

e quindi:

$$\ln(1 - M(t)) = -\mu t + \text{cost}$$

$$1 - M(t) = e^{\Lambda(-\mu t + \text{cost})}$$

$$M(t) = 1 - e^{\Lambda(-\mu t + \text{cost})}$$

Essendo $M(0) = 0$, allora:

$$Mt = 1 - e^{\Lambda(-\mu t)}$$

Discende che:

$$MTTR = \int_0^{\infty} e^{-\mu t} dt = \frac{1}{\mu}$$

La trattazione degli studi affidabilistici si completa con la considerazione:

- dei guasti che si auto evidenziano e che non si auto evidenziano;
- delle cause comuni di guasto.

I guasti che non si auto evidenziano richiedono una analisi periodica nel tempo per evitare che la situazione di guasto si manifesti nel momento peggiore, ovvero, quando il componente/sistema viene chiamato a produrre un intervento (per esempio, il caso di un sistema di sicurezza, come un impianto antincendio che è normalmente in stand-by). Nel caso dei guasti che si auto evidenziano, si può ricorrere alla teoria affidabilistica appena trattata.

Si supponga di considerare un sistema caratterizzato da rateo di guasto costante e guasto che non si auto evidenzia; in tal caso, l'affidabilità del sistema segue la legge esponenziale negativa e dunque decresce gradualmente nel tempo. Per capire se il sistema a un certo istante è funzionante è necessario chiamarlo in servizio oppure eseguire un test di controllo. Se il sistema viene periodicamente testato a intervalli di tempo regolari T , allora è possibile introdurre il parametro *Probability of Failure On Demand (PFOD)* che, se è $T \gg MTTR$ (cioè la riparazione si considera istantanea) è definito dalla seguente espressione:

$$PFOD = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt$$

Tale parametro rappresenta la probabilità che un sistema soggetto ad un controllo periodico si guasti quando viene chiamato ad intervenire; esso viene calcolato basandosi sull'ipotesi di un intervento manutentivo periodico che riporta il sistema nelle sue condizioni iniziali, lasciando inalterato il rateo di guasto (se questo è costante).

La probabilità di buon funzionamento in un intervallo fra due interventi manutentivi ($1 - p(t)$), dunque, ha il significato di un'affidabilità (Figura 5). Si può scrivere dunque:

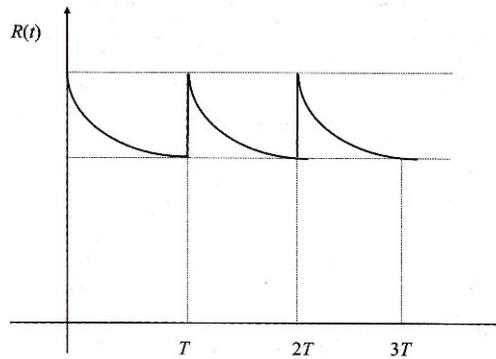


Figura5. Affidabilità di un sistema in manutenzione periodica

$$p(t)=F(t)=1- e^{-(\lambda t)}$$

e se $\lambda \cdot t \ll 1$

$$p(t)=F(t) \approx \lambda \cdot t$$

da cui:

$$PFOD = \frac{\lambda \cdot t}{2}$$

Si vede così che, essendo il rateo di guasto costante, PFOD dipende esclusivamente da T.

3.5 CAUSE COMUNI DI GUASTO

Le *cause comuni di guasto* (*Common Cause Failures – CCF*), rappresentano eventi comuni a più componenti presenti in un sistema e sono in grado di indurre guasti in tutti i componenti coinvolti.

Si possono manifestare diversi tipi di dipendenza, per esempio:

- dipendenza funzionale, quando viene a mancare un input funzionale come l'alimentazione elettrica a una classe di componenti; si può rilevare mediante l'applicazione dell'analisi dell'albero dei guasti (*fault tree analysis*) con cui è possibile evidenziare la presenza di eventi comuni a più rami dell'albero;
- presenza di un evento esterno comune, come, per esempio, nel caso in cui si manifesti un incendio in grado di porli contemporaneamente fuori servizio;
- difetti presenti in una fornitura, quando si manifesti un difetto in un certo numero di componenti di un lotto;

- presenza di fattori operativi che influenzano in uno stesso modo più componenti, per esempio, per la presenza di vibrazioni, temperature intense ecc.

La presenza delle cause comuni di guasto ha una influenza non irrilevante sulle analisi affidabilistiche. In alcuni casi particolari è possibile studiare tali effetti comuni, mediante tecniche di analisi come quella dell'albero dei guasti e ottenere così una quantificazione approssimata delle conseguenze.

4. AFFIDABILITA' DEI SISTEMI COMPLESSI

Un sistema è un insieme di elementi o componenti caratterizzati da particolari condizioni funzionali e affidabilistiche, ciascuno dei quali contribuisce a realizzare il funzionamento del sistema complessivo con un certo livello affidabilistico.

I sistemi possono essere analizzati con una metodologia *top down*, attraverso la quale lo si scompone e lo si semplifica, o *bottom up*, che conduce alla determinazione del livello affidabilistico del sistema globale a partire dalla considerazione delle affidabilità dei singoli componenti.

I sistemi complessi possono essere classificati in:

- *sistemi non ridondanti*: anche detti *sistemi serie*, nei quale il verificarsi del guasto di un componente comporta il guasto di tutto il sistema;
- *sistemi ridondanti*: anche detti *sistemi parallelo*, che non si guastano anche se si guasta un componente.

I sistemi non ridondanti sono caratterizzati dal fatto che il guasto di un componente determina il non funzionamento del sistema. L'affidabilità del sistema serie è pari al prodotto delle affidabilità dei singoli componenti:

$$R_S(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t)$$

Se il rateo di guasto è costante ed è $R_i(t) = e^{(-\lambda_i t)}$, allora è:

$$R_S(t) = e^{(-\lambda_S t)}$$

con $\lambda_S = \sum \lambda_i$, e

$$MTTF = \frac{1}{\lambda_S}$$

L'affidabilità di un sistema serie, dunque, può essere incrementata agendo sul componente meno affidabile:

$$R_S + \Delta R_S = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_i + \Delta R_i \cdot \dots \cdot R_n$$

da cui:

$$R_S + \Delta R_S = R_S + R_S \cdot \Delta R_i R_i$$

e quindi:

$$\Delta R_S = R_S \cdot \frac{\Delta R_i}{R_i}$$

I sistemi ridondanti, o di tipo parallelo, sono caratterizzati da un livello di affidabilità superiore, benché ciò comporti una maggiore complessità e costi di primo impianto più elevati.

Tali sistemi possono essere di due tipi: sistemi caratterizzati da *ridondanza attiva*, nei quali i componenti ridondanti svolgono un ruolo funzionale, e sistemi caratterizzati da *ridondanza passiva*, i cui componenti entrano in funzione solo in caso di guasto (l'intervento del dispositivo ridondante si manifesta grazie all'azione svolta da un apposito commutatore).

Nel caso di ridondanza attiva, deve valere per il sistema e per i singoli componenti la relazione $R_t + F_t = 1$, e dunque:

$$(R_1(t) + F_1(t)) \cdot (R_2(t) + F_2(t)) \cdot \dots = 1$$

Sviluppando il prodotto nel caso di tre componenti, per esempio, si ottiene:

$$R_1 R_2 R_3 + (R_1 R_2 F_3 + R_1 F_2 R_3 + F_1 R_2 R_3) + R_1 F_2 F_3 + F_1 R_2 F_3 + F_1 F_2 R_3 + F_1 F_2 F_3 = 1$$

ove il primo addendo rappresenta il caso in cui i tre componenti sono funzionanti, il secondo il caso in cui due componenti sono funzionanti ed uno guasto, il terzo il caso in cui due componenti su tre sono guasti e il quarto, infine, il caso in cui tutti i componenti sono guasti.

Se i tre componenti sono uguali discende la seguente espressione:

$$R^3 + 3 \cdot R^2 \cdot F + 3 \cdot R \cdot F^2 + F^3 = 1$$

In particolare, se i componenti del sistema sono identici e indipendenti, interessa studiare il caso in cui il sistema sia funzionante se sono funzionanti m componenti su n .

In tal caso, l'affidabilità del sistema è caratterizzata da una distribuzione discreta di tipo binomiale:

$$R_S(t) = \sum_{k=m}^n \binom{n}{k} R^k \cdot (1 - R)^{n-k}$$

L'inaffidabilità di un sistema parallelo è pari al prodotto delle inaffidabilità dei componenti:

$$F_S(t) = F_1(t) \cdot F_2(t) \cdot \dots \cdot F_n(t)$$

da cui discende la relazione delle affidabilità:

$$1 - R_S(t) = (1 - R_1(t)) \cdot (1 - R_2(t)) \cdot \dots \cdot (1 - R_n(t))$$

Nel caso in cui il rateo di guasto dei componenti è costante, è agevole calcolare il rateo di guasto di tutto il sistema. Per esempio, nel caso di due componenti uguali:

$$R_S(t) = 2 \cdot e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$$

$$f_S(t) = 2 \cdot \lambda e^{-\lambda t} - 2 \cdot \lambda e^{-2\lambda t}$$

$$Z(t) = \frac{2 \cdot \lambda e^{-\lambda t} - 2 \cdot \lambda e^{-2\lambda t}}{2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}}$$

Si trova, dunque, che l'affidabilità di un sistema parallelo dipende dal tempo, e quindi non è costante.

Con una dimostrazione analoga a quella vista per i sistemi serie, si può trovare, inoltre, che il miglioramento affidabilistico di un sistema parallelo passa per il miglioramento del suo componente migliore:

$$\frac{\Delta R_S}{\Delta R_i} = \frac{1 - R_S}{1 - R_i}$$

Si consideri ora la configurazione serie-parallelo (Figura 6) ove i quattro componenti sono uguali.

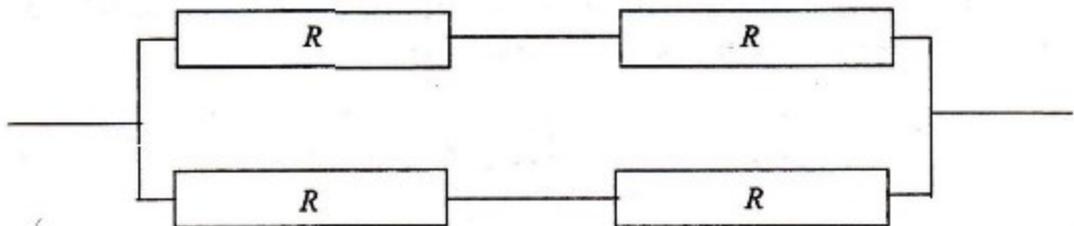


Figura6. Configurazione serie-parallelo

L'affidabilità del sistema succitato è:

$$1 - R_S = (1 - R^2) \cdot (1 - R^2)$$

$$R_S = 2 \cdot R^2 - R^4$$

La seconda configurazione di sistema, quella parallelo-serie, è rappresentata nella Figura 7.

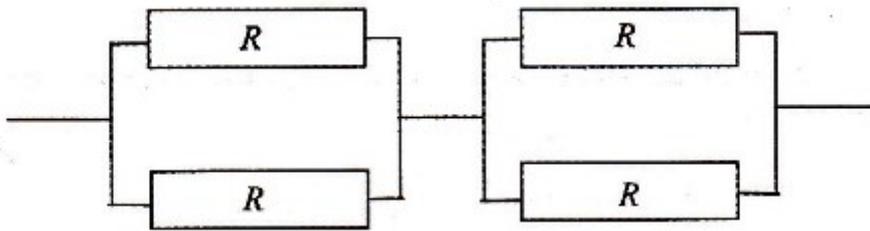


Figura7. Configurazione parallelo- serie

Nel caso in cui i componenti siano uguali, l'affidabilità del sistema è pari a:

$$R_S = (2 \cdot R - R^2) \cdot (2 \cdot R - R^2) = R^4 - 4 \cdot R^3 + 4 \cdot R^2$$

Dall'analisi dei due casi tipici appena visti emerge che la configurazione parallelo-serie è, a parità di legge di guasto, maggiormente affidabile.

I sistemi ridondanti di tipo passivo sono anche detti sistemi *stand-by*. Essi sono caratterizzati dal fatto che durante il funzionamento alcuni componenti rimangono in stand-by, appunto, ed entrano in funzione solamente in caso di guasto.

L'intervento dei componenti ridondanti passivi, come è già stato ricordato, è determinato dall'azione di un opportuno commutatore oppure dall'intervento umano.

Per valutare l'affidabilità di un sistema stand-by, si supponga che esso sia costituito da soli due componenti, A e B. Possono verificarsi due situazioni:

- al tempo t , il componente A funziona regolarmente; la probabilità di questo evento è pari a $R_A(t)$;
- il componente A si è guastato ad un istante x (con $0 \leq x \leq t$); il componente B ridondante è entrato regolarmente in funzione allo stesso istante e funziona al tempo t ; la probabilità di questo secondo evento è pari a:

$$\int_0^t RB(t-x)fA(x)dx$$

Gli eventi sopra citati sono mutuamente esclusivi; dunque, l'affidabilità del sistema si può scrivere, in base al teorema degli eventi totali:

$$RS(t) = RA(t) + \int_0^t RB(t-x)fA(x)dx$$

Se le affidabilità sono espresse da funzioni esponenziali, e quindi il rateo di guasto dei due componenti A e B sono costanti e uguali si ha:

$$RS(t) = e^{(-\lambda t)} + \int_0^t e^{-\lambda(t-x)} \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} = e^{(-\lambda t)} + \lambda t \cdot e^{(-\lambda t)}$$

Il parametro MTTF, invece, è:

$$MTTF = \int_0^{\infty} RS(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt + \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{2}{\lambda}$$

Nel caso in cui i componenti siano diversi e abbiano un diverso rateo di guasto, risulta invece essere:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda A} + \frac{1}{\lambda B}$$

Se si volesse tenere conto dell'affidabilità del commutatore che determina l'azionamento del componente ridondante di sicurezza, si dovrebbe introdurre il parametro corrispondente RC; l'affidabilità totale del sistema (sistema + commutatore), dunque, diverrebbe:

$$RS(T) = RS \cdot RC$$

Se risulta essere RC = 1, si verifica che l'affidabilità del sistema stand by è superiore a quella del sistema parallelo di tipo attivo.

5. COSTO DEL CICLO DI VITA

Per valutare un progetto, e prendere decisioni relative all'acquisto, rinnovo o miglioramento di una macchina o un sistema, è necessario analizzare l'effetto economico di queste decisioni durante tutto l'orizzonte di vita del progetto, in modo da ottimizzare le risorse. Frequentemente vengono fatte valutazioni che considerano solo l'investimento ed i costi; ciò è errato in quanto è necessario aggiungere i costi provabili legati alle fermate non programmate dei beni.

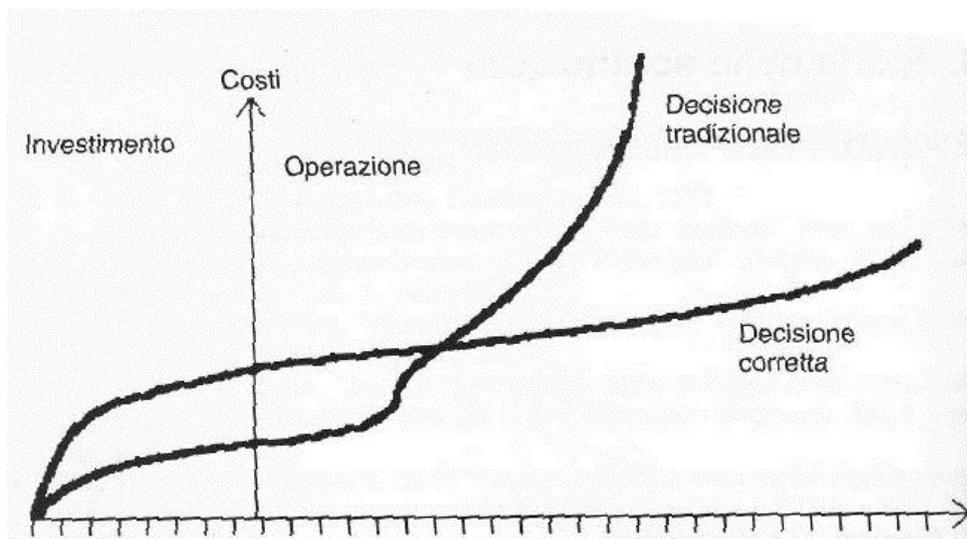


Figura8. Grafico costi durata

Talvolta si valutano i costi di manutenzione come una frazione dell'investimento, sfavorendo investimenti maggiori che permettono la riduzione dei costi operativi mediante una maggiore sicurezza di funzionamento.

L'unico modo corretto per affrontare questo problema è analisi del ciclo di vita che tende a riconoscere ed identificare i costi globali del bene per l'intero ciclo di vita. Nel grafico precedente si presenta il modo nel quale una soluzione orientata fortemente ad una riduzione dei costi associati allo sviluppo e all'implementazione del progetto non rappresenta necessariamente la migliore soluzione economica durante tutto il ciclo di vita della macchina. Per questa analisi generale è necessario non solo considerare i costi tradizionali e visibili, ma anche quelli occulti associati alla

quantificazione della mancata produzione (vendite non realizzate), originate da diverse ragioni quali guasti della macchina o prodotti difettosi

La teoria dell'affidabilità è uno strumento importante per prefigurare il comportamento operativo, aiutando a scegliere la migliore soluzione sia per lo sviluppo del progetto che per l'esercizio del bene. In definitiva l'obiettivo è minimizzare il costo globale operativo industriale durante tutto il ciclo di vita. Un elemento importante nella ricerca dei costi globali è la quantificazione dei costi occulti di un'installazione industriale e, al loro "costo" che risulta dal fatto che le installazioni e le macchine, per motivi progettuali, non rispondono agli standard di capacità produttiva per i quali non erano stati originariamente concepiti

Il costo di inefficienza è:

$$C_i = C_f \times T$$

Dove C_f è il costo di mancanza, che normalmente ha due valori, uno per le fermate piccole e uno per le fermate maggiori (generalmente più rilevante); T rappresenta il tempo di questa fermata. Il costo di mancanza è dato dalla differenza tra il costo della fermata (F') e i costi variabili cessanti (Cv') nel tempo di fermata (T), cioè:

$$C_f = \frac{(F' - Cv')}{\text{tempo operativo stimato}} .$$

Il costo di inefficienza si può ridurre:

A livello di esercizio operativo:

- Per un maggior costo associato ad una migliore gestione della manutenzione

A livello progettuale

- Per un maggior costo per il sovradimensionamento della capacità produttiva
- Per un maggior costo per aumento della sicurezza operative (ridondanza)

6. STRATEGIE E FUNZIONI DELLA MANUTENZIONE

In ambito economico, l'implementazione a livello industriale di teorie affidabilistiche applicate a risorse produttive comporta inevitabilmente dei costi che devono essere equilibrati in funzione dello scopo finale. Nella seguente figura si può qualitativamente osservare che la funzione del costo totale sostenuto è data dalla somma dei costi sostenuti per le azioni di incremento della affidabilità o della disponibilità delle macchine e dei costi di mancata produzione dovuti all'inaffidabilità o indisponibilità delle cose.

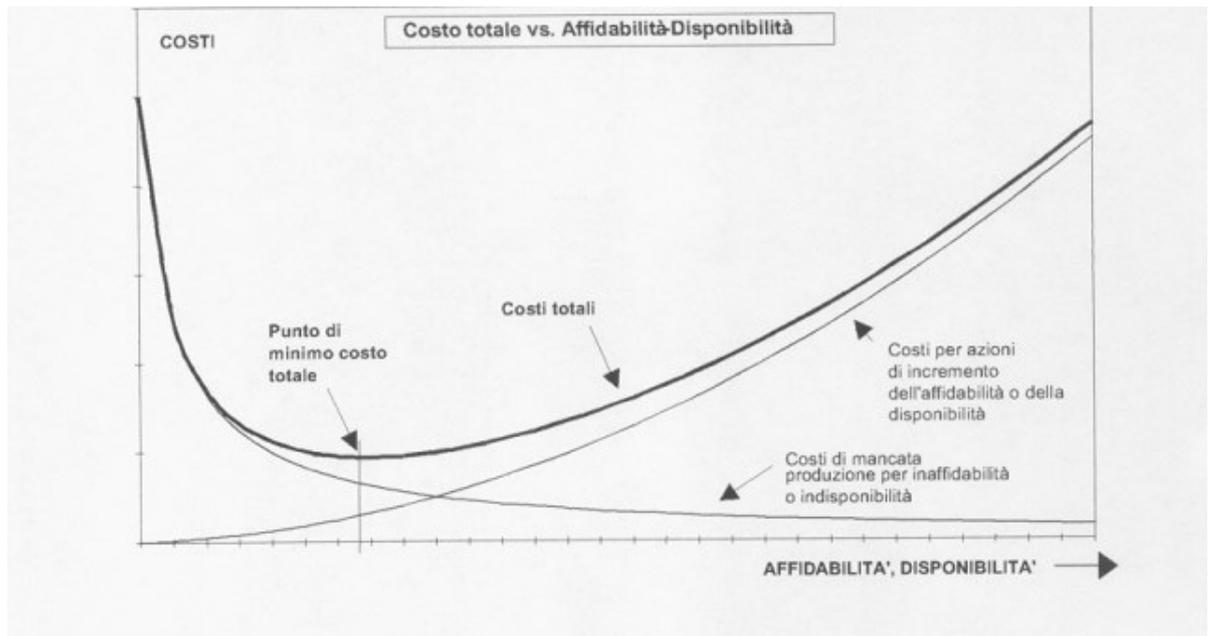


Figura9. Grafico costi-disponibilità

In ambito di sicurezza l'affidabilità assume un ruolo della massima importanza mentre a livello produttivo il suo posto viene spesso preso dalla disponibilità attraverso la quale il gestore dell'impianto riesce a monitorare la reale efficienza operativa delle macchine nel corso della loro vita utile.

Poiché le macchine si guastano, l'affidabilità e la disponibilità vengono garantite, ove possibile, attraverso adeguate politiche manutentive che se da un lato contribuiscono a un funzionamento globale regolare e continuativo, dall'altro rappresentano un onere economico spesso non indifferente; intervenendo in sede di gestione dell'impianto, oppure nella progettazione o riprogettazione di parti od insiemi di macchine o nell'installazione di unità di riserva (ridondanti) i costi tendono a diminuire.

Per rendere la manutenzione più efficiente possibile e ridurre i costi un'azienda deve decidere una strategia manutentiva che consiste soprattutto nel definire come le

risorse umane, economiche e tecniche a disposizione devono essere coordinate allo scopo di raggiungere l'obiettivo aziendale.

Formulare un piano strategico di manutenzione significa definire univocamente le azioni necessarie a:

- Applicare a ciascuna macchina o impianto il tipo di manutenzione, i mezzi, il personale e di metodi di lavoro più appropriati
- Dimensionare correttamente sia sotto il profilo tecnico che sotto il profilo economico il magazzino dei ricambi e dei beni di consumo
- Allestire e gestire un sistema informatico sintetico, snello e affidabile che garantisca il controllo delle prestazioni
- Definire quanti e quali lavori è più conveniente affidare a imprese esterne sia per motivi economici che per ottenere un grado di competenza più elevato e una maggior rapidità di risposta rispetto ai mezzi propri

La strategia definisce quindi le linee guida organizzative della manutenzione.

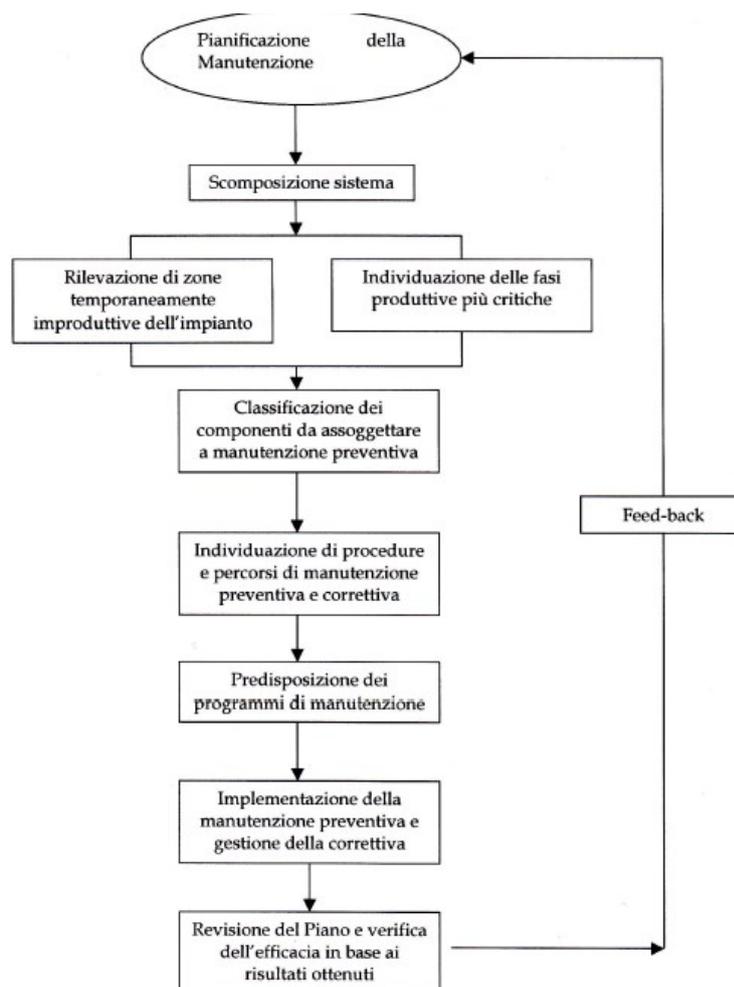


Figura 10. Schema della pianificazione della manutenzione

6.1 LA STRATEGIA MANUTENTIVA

In passato l'attività manutentiva perseguiva ad ottenere una certa continuità del processo produttivo attraverso ridondanze operative e funzionali, oppure garantendo un calcolato eccesso di capacità produttiva o, infine, applicando un aggressivo programma di revisione e sostituzione dei sistemi critici. Tutti questi approcci si sono dimostrati parzialmente inefficienti: sistemi ridondanti e capacità in eccesso immobilizzano capitali che potrebbero essere più proficuamente utilizzati per l'attività produttiva, mentre portare avanti una politica di revisioni eccessivamente prudente si è rivelato un metodo piuttosto costoso per ottenere gli standard richiesti. La manutenzione si è quindi trasformata, in termini di missione, da attività prevalentemente operativa di riparazione, a complesso sistema gestionale, orientato, più che altro, alla prevenzione del guasto. Si tratta di un passaggio non facile, che implica un considerevole mutamento culturale del management, in generale, e del manutentore, in particolare. Oggi si tende perciò a prevenire il guasto che viene definito dalla norma UNI 9910 come un fenomeno che consiste nella cessazione dell'attitudine di un'entità a eseguire la funzione richiesta.

La manutenzione delle macchine ha due scopi principali:

- Riparare i guasti
- Impedire la loro insorgenza

La manutenzione preventiva riguarda quest'ultimo aspetto, mentre la manutenzione correttiva provvede alla riparazione di guasti già in atto. Per entrambe l'obiettivo da perseguire è ridurre l'indisponibilità accidentale e sistematica che si manifesta quando gli apparati sono soggetti, durante la produzione, a usura, fatica, corrosione e in generale quando i meccanismi invecchiano e si degradano. Si vuole mettere in evidenza l'importanza dell'efficienza e della buona organizzazione di un servizio manutentivo nel contesto produttivo dove la linea sia satura oppure dove sia richiesto un elevato qualitativo del prodotto e di processo o entrambe le esigenze. Per raggiungere l'obiettivo occorre una dettagliata documentazione storico informativa che permetta un'adeguata analisi dei dati riguardanti disponibilità degli apparati, costi ed efficienza del personale preposto a mantenere e migliorare le performance delle macchine

Uno degli approcci più interessanti del problema del degrado degli impianti e alla loro conseguente assistenza, sembra essere la teoria che si basa sulla curva di mortalità "a vasca da bagno". Si può definire guasto istantaneo quell'evento che non è prevedibile a priori ma che si manifesta improvvisamente, spesso interrompendo in modo totale il funzionamento della macchina.

Quando la macchina o l'apparecchiatura o l'impianto viene installato e nel primo periodo della vita utile che, è possibile che il tasso di guasto istantaneo sia elevato. Questo fatto è causato principalmente dalle caratteristiche dei componenti, che, nuovi necessitano di un rodaggio che dà problemi di montaggio e regolazione iniziale. Ci si trova quindi in una prima zona della curva che presenta un tasso di guasto istantaneo decrescente con una velocità proporzionale alla capacità della macchina di "assestarsi" e degli operatori di imparare ad usarla correttamente.

Raggiunta una fase di funzionamento stabile, questa si protrae generalmente per un lungo periodo, nel quale compaiono dei guasti dovuti principalmente al degrado per normale utilizzo dei componenti. Questo è il periodo della vita utile, il cui tasso di guasto è costante e la macchina funziona alla capacità nominale per la quale è stata progettata e costruita.

Quando infine i componenti invecchiano, viene meno la capacità di svolgere le funzioni richieste e si manifestano dei cedimenti. Ci si trova a questo punto nella zona di "usura", caratterizzata da un tasso di guasto crescente nel tempo con una pendenza che è funzione sia dello stato della macchina sia dell'utilizzo che viene fatto. La manutenzione deve lavorare affinché il tasso di guasto istantaneo rimanga il costante possibile nel ciclo di vita dell'apparato, cioè che quest'ultimo si collochi operativamente nella zona di mortalità standard e affinché il tasso di guasto sia il più basso possibile.

6.2 I TEMPI DELLA MANUTENZIONE

La comparsa del guasto causa generalmente un decadimento delle prestazioni che può essere tanto istantaneo e totale, quanto parziale e dilazionato nel tempo. Tra il manifestarsi dell'anomalia e l'intervento della manutenzione per la riparazione spesso trascorre del tempo, detto "ritardo amministrativo", dovuto principalmente al fatto che i manutentori devono venire a conoscenza della tipologia di guasto e quindi attrezzarsi di conseguenza.

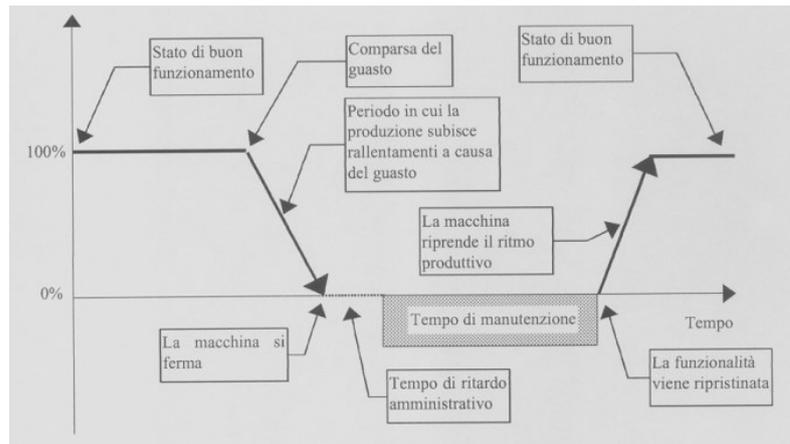


Figura 11. Tempi della manutenzione

Come si può notare nel grafico qualitativo di figura3, dal momento della comparsa del guasto fino al successivo raggiungimento del livello di buon funzionamento è possibile individuare una serie di tempi relativi alla riparazione:

- Un intervallo di tempo in cui il sistema continua ad operare dando luogo a processi rallentati o errati e in cui l'origine del malfunzionamento non è evidente. In questo intervallo di tempo l'operatore rileva la presenza di un guasto e lo segnala alla manutenzione
- Un ritardo di attesa della manutenzione dovuto sia a fenomeni amministrativi di inoltra della richiesta che di disponibilità e di preparazione dei manutentori alla specifica tipologia di intervento. E' possibile infatti che al momento del guasto nessun manutentore sia libero per intervenire
- Un tempo di ricerca e di rilevazione dell'anomalia da parte del tecnico manutentore incaricato (diagnostica)
- Un tempo di approvvigionamento dei ricambi e del necessario materiale di consumo
- Un tempo di effettiva riparazione
- Un tempo di controllo della funzionalità e di testing della macchina

Il tempo di indisponibilità della macchina è quindi dato dalla somma dei tempi sopra esposti; alcune tempistiche dipendono dalle capacità del servizio manutentivo, altre da fattori esterni quali i turni lavorativi, i rallentamenti burocratici o la mancanza di ricambi in magazzino. Una corretta suddivisione e il controllo di questi tempi può permettere al gestore del servizio di intervenire in modo mirato su quegli aspetti che maggiormente possono contribuire ad aumentare l'efficacia degli interventi e quindi a minimizzare l'indisponibilità delle macchine.

7. POLITICHE MANUTENTIVE

Una politica manutentiva nasce dalla realizzazione pratica di una filosofia, interpretabile come un pensiero organizzativo. La manutenzione nasce inizialmente dall'esigenza di riparare le macchine guaste per allungare la loro vita utile produttiva e i suoi ruoli aziendali vengono fissati e limitati da questa esigenza. Si sviluppa quindi all'inizio una politica manutentiva correttiva semplice, la quale si basa sull'attesa che compaia un guasto e sul successivo intervento dei tecnici per la riparazione e il ripristino della funzionalità originale. Altre filosofie, più recenti, hanno favorito il nascere di diverse politiche di manutenzione. La necessita di integrare più profondamente la manutenzione nella realtà aziendale ha portato allo sviluppo di una politica di prevenzione del guasto e delle tecniche particolari che ne fanno capo. In tempi più recenti si sono sviluppati approcci predittivi e produttivi della manutenzione a favore di una maggiore integrazione del servizio nella realtà aziendale hanno promosso un processo la cui tendenza è quella di ridurre gli addetti alla manutenzione a favore di un maggiore addestramento specifico. Si vedranno in seguito quali sono le caratteristiche peculiari delle varie politiche adottate a livello industriale in un ottica in cui le politiche operative non sono però nettamente separate tra loro. I confini applicativi che le dividono sono infatti dettati più dalla situazione oggettiva in cui vengono applicate che dalla diversa terminologia che le contraddistinguono.

Vengono presentate alcune indicazioni sulle varie tipologie manutentive attualmente usate in ambito industriale, inserite all'interno di un contesto in cui politica e strategia organizzativa rappresentano i fattori "leganti" del servizio.

7.1 LA MANUTENZIONE A GUASTO O CORRETTIVA

La norma UNI 9910 definisce la manutenzione correttiva come la manutenzione eseguita a seguito di una avaria e volta a riparare un'entità nello stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta.

Questo modo di affrontare il problema prevede di lasciare la macchina in esercizio fintanto che il manifestarsi o il progredire di un'anomalia costringe il gestore a fermare la macchina. La strategia della macchina, chiamata manutenzione correttiva presenta degli aspetti contrastanti. Il fattore positivo è un costo di manutenzione molto basso o nullo mentre gli aspetti negativi possono essere sintetizzati nei seguenti:

- Elevata perdita di ricavi dovuti al fermo della macchina per guasto
- Imprevedibilità del guasto e perciò dell'intervento e quindi delle eventuali operazioni di deviazione del flusso produttivo in corso
- Generalmente elevati costi di riparazione. Un guasto a un componente che si protrae per molto tempo può danneggiare altri componenti della macchina.

Una strategia correttiva, che rappresenta l'approccio più tradizionale della manutenzione, conserva una sua validità qualora le tipologie di guasto siano facilmente riparabili in un contesto produttivo in cui il fermo macchina non comporti gravi danni al ciclo produttivo generale. E' il caso di avaria a macchine singole ma duplicate, il cui ruolo nel ciclo produttivo può facilmente essere ricoperto da un'altra unità. Il suo intervento presenta dei vantaggi qualora la comparsa della tipologia di guasto a cui è applicata sia scarsamente prevedibile. Una manutenzione sistematica, come si vedrà in seguito, si basa sulla prevedibilità di accadimento del guasto, come nel caso di mancanza o deterioramento dell'olio lubrificante di un'automobile. Prevedere invece la rottura di un alternatore è più difficile e d'altra parte sostituirlo quando è ancora in buone condizioni potrebbe rivelarsi troppo dispendioso.

7.2 LA MANUTENZIONE PREVENTIVA

La manutenzione preventiva è definita come la manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o in accordo a criteri prescritti a volta a ridurre le provabilità di guasto o la degradazione del funzionamento di un'entità (norma UNI 9910).

La politica preventiva si basa quindi sulla sostituzione programmata di un determinato componente della macchina ancora perfettamente funzionante, con uno nuovo, in modo tale da prevenire il cedimento incontrollato. La programmabilità dell'intervento consente una maggiore organizzazione del lavoro di manutenzione e garantisce la possibilità di gestire la fermata della macchina nella maniera più conveniente.

All'interno della manutenzione preventiva, in base alle modalità di determinazione degli intervalli di tempo predeterminati e alla definizione dei criteri prescritti, si possono distinguere almeno tre tecniche manutentive:

1. *La manutenzione programmata statica*
2. *La manutenzione programmata dinamica*
3. *La manutenzione su condizione*

La manutenzione programmata statica

Nella manutenzione programmata statica gli intervalli e i criteri prescritti di intervento sono generalmente fissati per tutta la vita utile del componente o della macchina. Un esempio pratico può essere la sostituzione delle candele di un'automobile la cui cadenza chilometrica è specificata dal costruttore ed è da ritenersi valida per tutta la vita dell'automobile.

La manutenzione programmata dinamica

Nella manutenzione programmata dinamica gli interventi sostitutivi sono determinati in genere in base alla storia della macchina stessa. La rilevazione dell'MTBF, tempo medio tra due guasti, che spesso è funzione delle modalità con cui la macchina viene utilizzata, consente di redigere dei calendari di intervento preventivo basati su una determinata provabilità che il guasto non si manifesti nell'arco di tempo che intercorre tra due sostituzioni successive.

Appare qui chiaro che la manutenzione preventiva-programmata, per quanto finora visto, è efficace sia in termini economici che di riduzione dell'indisponibilità della macchina quando il guasto presenta una certa regolarità di rottura.

Tuttavia come già visto nel caso dell'alternatore, ad un guasto che sia difficile da prevedere non è conveniente applicare delle tecniche di manutenzione programmata in quanto si rischia realmente di sostituire un componente la cui vita utile è tutt'altro che terminata.

La manutenzione su condizione

Sempre in ambito automobilistico, adottare una politica di sostituzione programmata per le pastiglie dei freni non è conveniente ne tanto meno lo è, sotto il profilo della sicurezza, una politica correttiva. La soluzione generalmente adottata è quella di costatarne le condizioni di usura e prendere la decisione se cambiarle o meno: si fa quindi una manutenzione "su condizione".

I programmi di manutenzione si traducono spesso in regolari interventi di smontaggio, sostituzione e rimontaggio dei componenti. Revisioni non necessarie di macchine, intese a prevenire guasti futuri, possono talvolta, possono talvolta provocare guasti indotti e un danno economico maggiore rispetto al permettere che la macchina funzioni fino a rottura.

La strategia di monitoraggio della condizione,effettuata mediante verifiche ispettive periodiche,tende quindi ad individuare lo stato di un componente che potenzialmente potrebbe provocare il guasto.

In un'ottica di manutenzione sempre più integrata e allo scopo di distanziare ulteriormente i periodi tra due grandi revisioni, il piano di ispezione sullo stato di una macchina o di un suo determinato componente è spesso vantaggioso e correlato a un programma di manutenzione programmata (dinamica) ma spesso necessita anche di un elevato grado di addestramento da parte del personale esecutore nel riconoscimento dell'anomalia.

Una manutenzione basata sul monitoraggio può consentire quindi di:

- Ridurre i costi di manutenzione
- Aumentare la disponibilità operativa della macchina
- Migliorare la sicurezza
- Ridurre la quantità e la gravità dei guasti in esercizio

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

- Sistemi continui, nei quali i dati relativi a svariati parametri di funzionamento, che potrebbero convogliare segnali deboli premonitori di guasto della macchina (temperatura, stato di usura, assorbimento elettrico, ecc,) vengono acquisiti a intervalli regolari e piuttosto brevi. Questi sistemi sono costosi ma offrono il più alto grado di copertura nei confronti del guasto.
- Sistemi di sorveglianza, nei quali i dati vengono rilevati da intervalli più lunghi
- Sistemi di acquisizione distribuiti, nei quali i dati sono forniti da strumenti e apparecchiature portatili posizionati in punti di misura definiti a priori
- Sistemi di acquisizione manuale, in cui i dati vengono manualmente raccolti dagli operatori durante percorsi pianificati attraverso il parco macchine senza coinvolgere strumenti posizionati in modo stabile sulle macchine.

Il monitoraggio delle condizioni può essere definito come un metodo che indica lo stato di salute della macchina utilizzando parametri che evidenziano i cambiamenti avvenuti nel tempo della macchina stessa. I criteri principali utilizzati sono: analisi acustica, analisi della temperatura, analisi delle tolleranze di lavorazione, analisi delle vibrazioni ecc.

7.3 LA MANUTENZIONE PREDITTIVA

La *manutenzione predittiva* si basa sulla possibilità di riconoscere la presenza di una anomalia in stato di avanzamento attraverso la scoperta e l'interpretazione di segnali deboli premonitori del guasto finale. Il segnale, quando riconosciuto, entra poi a far parte di quei fattori che possono essere monitorati attraverso ispezioni continue o periodiche e quindi nella sfera di influenza della manutenzione preventiva (su condizione o programmata). Contrariamente alla preventiva (in particolare alla manutenzione su condizione) l'idea di base della predittiva si fonda su un controllo dello stato delle apparecchiature tale da non interrompere il loro normale funzionamento ma da segnalarne anticipatamente ed in modo continuo il progressivo degrado.

Lo scopo della manutenzione predittiva è quello di minimizzare, attraverso lo sviluppo di metodologie flessibili e affidabili di rilevamento della condizione, il numero di ispezioni o di revisioni che potrebbero a loro volta dare luogo a guasti o deterioramenti.

La manutenzione predittiva viene definita sulla base di parametri, che consentono di capire qual è lo stato effettivo della macchina e che sono rilevati attraverso una serie di misure, ispezioni visive, controlli non distruttivi, prove operative o funzionali senza, in genere, dover smontare i componenti del sistema meccanico. Queste azioni, effettuate ad intervalli regolari definiti per ogni caratteristica, consentono di rilevare quando le prestazioni di un componente iniziano a degradare e, sulla base di queste informazioni, di decidere se effettuare un intervento di riparazione o di sostituzione prima che si verifichi il guasto.

Le tecniche su cui si basa questa pratica manutentiva sono, principalmente, le seguenti:

- *monitoraggio visivo*, alla ricerca di eventuali cricche di fatica, difetti di saldatura, disallineamenti ecc.;
- *monitoraggio della rispondenza alle specifiche*, verifica che pressione, flusso, temperatura, velocità assumano valori prossimi a quelli di progetto;
- *monitoraggio delle vibrazioni del rumore*;
- *monitoraggio dei detriti da usura*.

Questa strategia di manutenzione non utilizza metodi probabilistici per effettuare una prognosi dei guasti, ma adopera l'andamento di trend dei parametri monitorati per predire i guasti potenziali. La manutenzione secondo condizione va quindi intesa come un processo diagnostico che, fornendo indicazioni sullo stato funzionale della macchina, consente di pianificare interventi di revisione, basandosi sulle reali condizioni dei componenti piuttosto che sul tempo di funzionamento.

È una filosofia manutentiva che, oltre a permettere indubbi e vantaggi economici ed operativi, ha anche rilevanti implicazioni sulla progettazione: infatti, per ridurre al minimo i tempi passivi dovuti ai frequenti controlli, è opportuno che il sistema meccanico sia dotato di tutta una serie di accessi necessari alla determinazione dello stato di efficienza dei componenti. L'individuazione delle parti da sottoporre a revisione, l'identificazione dei parametri significativi nonché la definizione delle frequenze di controllo sono tutte attività che devono essere sviluppate possibilmente in parallelo all'avanzamento del progetto.

7.4 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 con 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 (o produttiva), ove il termine "migliorativa", si oppone al concetto di reazione, nel senso che si riferisce ad una azione la quale si svolge prima dell'evento critico.

Si tratta di un'attività di pre-allerta che si realizza in anticipo rispetto a qualsiasi danno relativo al materiale o alla prestazione del sistema; cioè di una serie di azioni miranti 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 di instabilità operativa. Queste ultime altro non sono che le “radici del guasto” e segnalano quel primo livello di malfunzionamento che si è chiamato “guasto condizionale”. Per esempio, i cuscinetti dei motori elettrici sono spesso stati indicati come le vere “cause” di guasto, mentre, in effetti, sono le correnti vaganti che attraversano l’albero rotante che, generando un arco elettrico, finiscono per provocare la vaiolatura delle guide dei cuscinetti: in questo caso la causa prima del guasto sono le correnti parassite e non i cuscinetti difettosi.

Questa pratica manutentiva costituisce la prima linea di difesa contro il degrado del materiale (guasto incipiente) e il conseguente indebolimento delle prestazioni (guasto imminente) che inevitabilmente conducono al *breakdown*; 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 di MTBF del sistema (Figura 12). Senza contare 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 si 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 cause prime di guasto: se si identifica una condizione di instabilità vuol dire che si è in presenza di un guasto condizionale; segue poi una fase di correzione dei fattori critici individuati.

Tutto ciò richiede una buona familiarità con il sistema in studio da parte del personale addetto alla manutenzione, il quale deve avere una comprensione profonda dei principi operativi e delle caratteristiche, per poter correttamente individuare 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), per esempio il livello di contaminazione del fluido lubrificante;
- definizione dei valori di soglia, cioè dei valori massimi accettabili per ogni parametro, per esempio il massimo livello di contaminazione ISO o la massima temperatura;
- riconoscimento e interpretazione di eventuali valori anomali di questi parametri chiave, che indicano una certa instabilità delle condizioni operative, per esempio livello ISO di contaminazione al di sopra della soglia limite;

- precisazione dei mezzi e dei metodi da applicare per correggere le cause prime di guasto e ripristinare la stabilità del sistema, per esempio migliorare il sistema di filtraggio e le procedure di ricambio dell'olio.

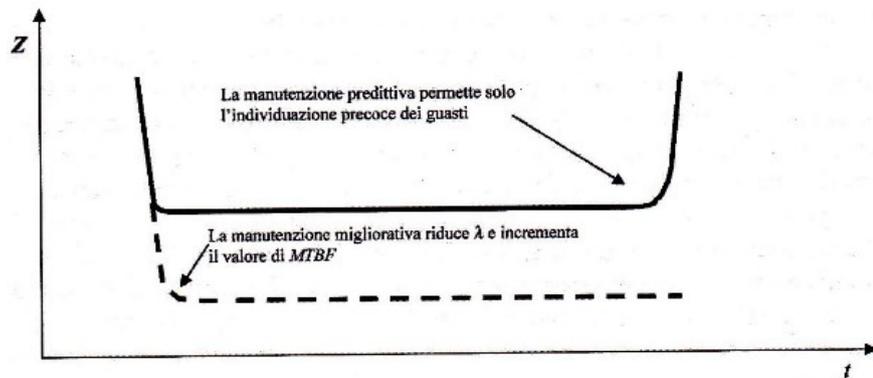


Figura 12. Valore di λ nella manutenzione migliorativa

8. LA MANUTENZIONE PRODUTTIVA(TPM)

8.1 CONCETTI TOTAL PRODUCTION MAINTENANCE

Una moderna visione dell'organizzazione industriale tende ad identificare la manutenzione non più come una funzione aziendale accessoria alla produzione, ma come una sua parte integrante. In quest'ottica di sempre maggiore integrazione interfunzionale si inseriscono le motivazioni che portano all'approccio della manutenzione produttiva (Total Productive Maintenance), non si tratta di una vera e propria politica manutentiva ma un insieme di regole e comportamenti organizzativi, volti a raggiungere la qualità e l'efficienza della manutentiva in apparati produttivi complessi nei quali le tradizionali procedure non sono più sufficienti per la gestione dei fenomeni ed occorre coinvolgere tutte le strutture aziendali cercando di trovare la soluzione e resa ottimale. Dove è stato adottato questo metodo, esso ha portato ad ottimi risultati: ha migliorato visibilmente il posto di lavoro, aumentando il livello di conoscenza e la professionalità degli operatori e dei manutentori, ridotto la rottura della macchina, minimizzando i tempi morti della e le piccole fermate, attenuando i difetti di qualità, riduce i guasti, aumenta la produttività e promuove gruppi autonomi di manutenzione con attività giornaliere.

La manutenzione produttiva mira alla semplificazione dei sistemi, sempre più complessi sia a livello tecnologico che per dimensioni. La stabilizzazione del processo, la semplificazione delle procedure e la standardizzazione dei metodi di lavoro permettono la mobilità degli operatori su più macchine e diverse postazioni facilitando l'addestramento e la conseguente omogeneizzazione di una cultura manutentiva.

I concetti di base della TPM si possono riassumere nei seguenti tre aspetti:

- la TPM ha l'obiettivo di ottenere la massima efficienza e quindi affidabilità dell'impianto, al fine di ridurre l'insieme di tutti i costi sostenuti nell'intero ciclo di vita utile stimata dell'impianto;
- è un sistema totale di manutenzione, ovvero l'implementazione di un mix completo di tecniche, che vanno dalle politiche manutentive (da quella a guasto a quella su condizione) alla gestione dei ricambi, fino alla pianificazione degli interventi;
- prevede il coinvolgimento operativo di tutto il personale dell'azienda, quindi la partecipazione al progetto TPM di tutti i dipendenti (dalla dirigenza agli operatori in linea).

Un altro punto cardine della TPM è costituito dalla prevenzione dei guasti attraverso che può essere ricondotto a questi tre tipi di errori:

- *errori di progetto*, cioè compiuti in fase di: progetto, costruzione ed installazione;
- *errori di esercizio*, impianti tenuti in cattive condizioni oppure errori in avviamento o conduzione;
- *errori di manutenzione*, che possono accadere nella esecuzione degli interventi di ripristino.

L'identificazione di uno di questi errori porta alla correzione ed al corretto funzionamento dell'impianto. La prevenzione dei guasti attraverso il monitoraggio, strumento indispensabile per la realizzazione di una manutenzione su condizione efficace ed efficiente, consente la valutazione delle condizioni dell'impianto o apparato ottenuta mediante sensoristica sofisticata. Avendo sotto controllo in ogni istante e tempo reale le condizioni dell'impianto è possibile prevenire i guasti ed effettuare un intervento manutentivo. La verifica dello stato manutentivo viene effettuata mediante una check-list di controllo e confrontata con il modello della TPM. L'ingegneria della manutenzione ha quindi il compito di programmare l'unità di diagnostica e predeterminare i valori di set che in esercizio saranno confrontati con i parametri rilevati.

L'introduzione della TPM all'interno di un'azienda significa sostituire una strategia manutentiva a rottura dove la soluzione e l'analisi del problema partono dopo un fermo macchina non pianificato che porta ad un incremento dei costi di manutenzione ed a una riduzione della disponibilità d'impianto, con un tipo di intervento preventivo o predittivo che ha come conseguenza la diminuzione delle attività di manutenzione correttiva e del consumo di parti di ricambio oltre che dei tempi di fermo produttivo. Applicare una politica come la TPM passando da una strategia di tipo a rottura per arrivare a strategie preventive o predittive significa implementare e definire una "mappa tecnica dell'impianto" basata su cinque punti fondamentali.

8.2 I CINQUE PUNTI FONDAMENTALI DELLA TPM

La letteratura è ormai concorde nella definizione delle strategie che possono portare al raggiungimento degli obiettivi prefissati dalla TPM. In sintesi si parla di cinque pilastri portanti. In particolare:

1. *Eliminazione delle cause fondamentali di perdita di produzione.*

La TPM si sforza di conseguire l'efficienza complessiva del sistema massimizzando l'output che si può ottenere da una determinata batteria di input. Vengono quindi individuate come principali ostacoli "sei cause fondamentali di perdita di produzione". Esse possono essere schematicamente raggruppate in tre categorie: perdite di tempo, perdite di velocità e presenza di difetti.

Le perdite di tempo

In questa categoria sono comprese tutte quelle perdite che non consentono all'impianto di sfruttare il tempo complessivo a disposizione. In particolare si possono principalmente considerare le fermate degli impianti dovute ai guasti e dalle successive riparazioni e le operazioni di attrezzaggio (setup) e messa a punto che si verificano, ad esempio, in seguito al cambio del lotto di produzione.

Le perdite di velocità

Gli impianti spesso funzionano a velocità inferiore rispetto a quella programmata e soffrono inoltre di microfermate (di brevissima durata, fino a qualche secondo) dovute a inceppamenti temporanei, a funzionamenti anomali di qualche dispositivo, a difficoltà di lettura da parte di qualche sensore. Usualmente le microfermate si risolvono senza uno specifico intervento di manutenzione.

La presenza di difetti

Gli impianti producono fisiologicamente una frazione di prodotti che non rispettano le specifiche tecniche e qualitative richieste per la vendita (scarti). Chiaramente la presenza di scarto deprime la quantità di materiale vendibile e quindi in grado di generare reddito. Oltre allo scarto, durante la produzione a regime bisogna considerare che frequentemente il passaggio da un tipo di produzione ad un altro produce porzioni di materiale non idoneo alla vendita (le cosiddette "code" e "teste" di produzione: si pensi per esempio al processo di verniciatura e ad un cambio lotto per un prodotto che richieda un cambio-colore).

2. Creazione di un programma di manutenzione autonoma da parte degli operatori di produzione.

La manutenzione autonoma fatta dai singoli operatori di impianto è la caratteristica di base distintiva della TPM. Per programma di manutenzione autonoma si intende un programma di attività di manutenzione (la prima delle quali è la pulizia della macchina) eseguite direttamente dall'operatore addetto alla macchina stessa. Tradizionalmente gli operai e i manutentori sono abituati a svolgere le loro consuete funzioni secondo una logica del tipo "io produco e tu eventualmente ripari". La TPM ribalta completamente questo sistema, affidando agli operatori di macchina ampie competenze nell'ambito della manutenzione degli impianti. L'operatore che normalmente opera sulla macchina è ritenuto a ragione il massimo conoscitore del suo comportamento, e quindi può, almeno fino ad un certo livello di complicazione, attuare nella maniera più veloce ed efficiente gli interventi di manutenzione. In virtù di ciò è necessario che ogni operatore venga addestrato al fine di migliorare le sue competenze, di renderlo sempre più esperto ed autonomo nella manutenzione conseguendo livelli di sofisticatezza di azione via via crescenti. In ottica TPM gli operatori delle macchine sono incentivati, a proporre interventi migliorativi sulle macchine che gestiscono. In genere essi, compilando moduli appositi, possono sottoporre ad una commissione tecnica le loro proposte di miglioramento (esempio l'introduzione di una modifica di progetto sul prodotto per facilitare l'operazione di montaggio).

La commissione tecnica è usualmente formata da esperti della divisione manutenzione e della divisione produzione, integrata all'occorrenza da personale proveniente dalla progettazione e dalla qualità. In base all'accettazione totale o parziale delle loro proposte, essi possono conseguire benefits sotto varie forme: da somme di denaro direttamente in busta, a viaggi premio, ecc.

3.Preparazione di piani di manutenzione programmata e ispettiva per i manutentori.

Con il passo precedente è stato introdotto il sistema della automanutenzione delle macchine da parte degli operatori direttamente impiegati sugli impianti. L'obiettivo minimo è quello di garantire le attività di pulizia e di "piccola manutenzione" per poi arrivare con il tempo e con l'esperienza alla realizzazione di interventi di una certa complessità. In ogni caso, sia per la richiesta di risorse, sia per la richiesta di competenze, la divisione manutenzione dovrà realizzare comunque delle attività di

manutenzione, come ad esempio risolvere guasti impegnativi, svolgere attività di carattere preventivo ed ispettivo, ecc. L'automanutenzione non può sostituire completamente le attività tipiche della divisione di manutenzione, che assume grande rilevanza soprattutto per quel che riguarda la conduzione di efficaci piani di prevenzione e di miglioramento dell'impiantistica. In questa fase è possibile utilizzare gli approcci propri dell'ingegneria di manutenzione.

4. *Aumento della competenza specifica degli addetti alla manutenzione.*

Una prescrizione fondamentale della tecnica TPM è l'investimento continuo nella formazione del personale, sia quello impegnato sugli impianti, sia quello della divisione di Manutenzione. Nel primo caso la formazione dovrà essere mirata ad insegnare i principi della automanutenzione, partendo dal fondamentale concetto della pulizia della macchina e della zona di lavoro per poi giungere alla comprensione di alcuni interventi di manutenzione vera e propria. Alle squadre di manutenzione, oltre all'aggiornamento rispetto alle nuove tecnologie, che le aziende si mettono in casa acquistando impianti sempre nuovi e sofisticati, andranno fornite nozioni sui metodi e modelli per una manutenzione efficiente ed efficace del sistema di produzione (ad esempio ricambi, pianificazione e schedulazione degli interventi, ecc.). La rilevanza di queste problematiche appare evidente se si pensa che per soddisfare la domanda di corsi di manutenzione, il *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)*, in collaborazione con le aziende aderenti alla associazione, ha organizzato centri di addestramento dedicati in molte delle sue sedi. I corsi hanno una durata di 4 mesi e sono articolati in quattro parti. Vi partecipa il personale delle aziende che stanno implementando la TPM e vogliono offrire ai loro addetti l'opportunità di approfondimento della conoscenza dei loro impianti.

5. *Strutturazione di un programma di gestione "iniziale" degli impianti.*

L'ultima categoria di attività previste dalla tecnica TPM riguarda la fase di avviamento degli impianti. Questa fase è estremamente delicata e può addirittura compromettere l'intera vita dell'impianto per due principali ragioni. Per prima cosa nel periodo di avviamento, la pulizia, le riparazioni, le ispezioni e le lubrificazioni, sono spesso trascurate poiché si è concentrati a rendere operativa la macchina il più presto possibile. Di conseguenza il personale, si male-abituava ad un comportamento errato che

può compromettere a lungo andare il funzionamento della macchina stessa e che inoltre risulta in seguito molto difficile da modificare.

In secondo luogo, i problemi che si osservano nella fase di avviamento di un nuovo impianto evidenziano probabili errori commessi durante la fase di progettazione, costruzione e montaggio. È essenziale quindi che si instauri una stretta comunicazione fra i reparti manutentivi e le divisioni che seguono gli impianti dal punto di vista tecnico (progettazione, ufficio tecnico) al fine di correggere rapidamente ed in modo efficace i problemi esistenti sulle macchine già installate e possibilmente prevenirli su quelle non ancora installate. La tecnica TPM prevede la formulazione di un sistematico ed organico piano di lavoro per la gestione della fase di avviamento degli impianti. Essa deve prevedere, da un lato, fin dalle fasi dei test iniziali, la generazione di piani completi di pulizia e “piccola manutenzione”, e dall’altro l’esistenza di team di lavoro formati da esperti della manutenzione, dell’ufficio tecnico e della progettazione (o del fornitore esterno qualora gli impianti siano stati acquistati).

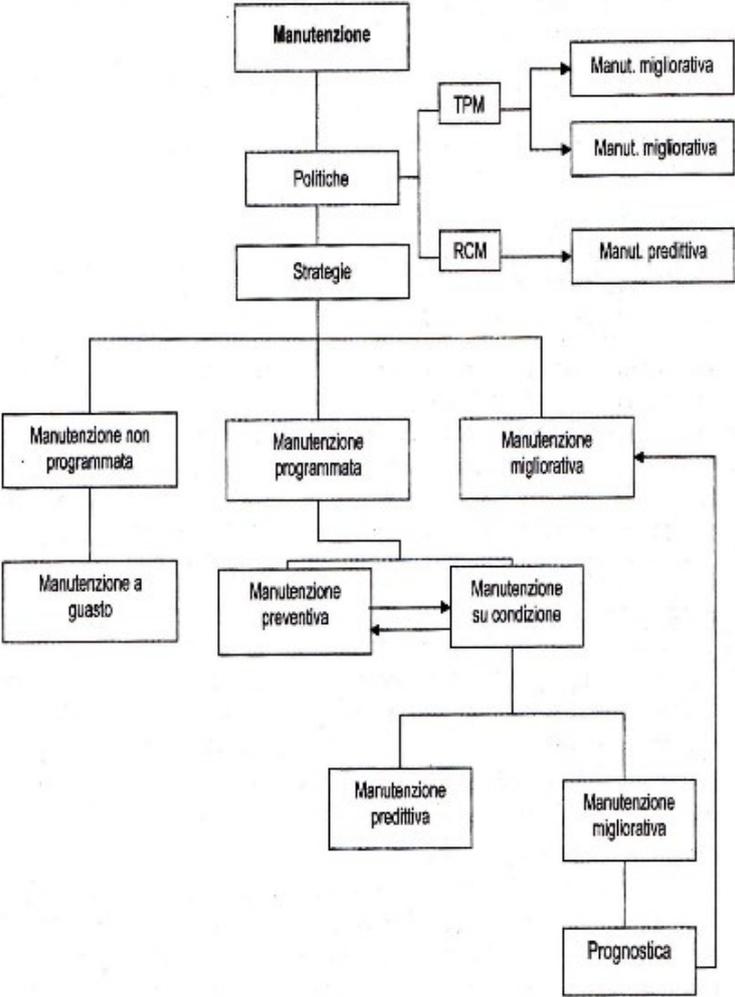


Figura 13. Schema generale della manutenzione

9. INDICI GLOBALI

Nella progettazione e successiva gestione di un sistema complesso, spesso si ricorre alla definizione di indice per poter comprendere lo stato ed individuare le aree aventi una maggiore criticità e che richiedono interventi di adeguamento. La norma UNI 10388 stabilisce alcuni indici inerenti la manutenzione e la gestione dei beni durevoli con particolare riferimento al settore industriale, classificandoli in :

- Indici generali
- Indici per la valutazione dell'efficienza
- Indici per la valutazione dell'efficacia
- Indici per la valutazione della struttura organizzativa
- Indici per la valutazione della sicurezza.

Gli indici sono valutati su periodi di riferimento di esercizio e sono utilizzati per comprendere quanto e in che modo la gestione corrente del sistema manutentivo è in grado di perseguire gli obiettivi prefissati. Alcuni di questi indici sono OCE e OEE.

9.1 OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS-OEE

L'OEE fornisce una valutazione dei livelli prestazionali delle singole aree presenti all'interno di una azienda. L'OEE è:

- Un indice di tipo globale usato per stabilire il livello prestazionale di una linea produttiva
- Un parametro utilizzato per eseguire una classificazione e una quantificazione delle principali cause di perdita di efficienza
- Una misura del valore aggiunto apportato da una macchina o da una macchina alla produzione

Esso è dato da tre fattori:

- Disponibilità-A: data dal rapporto fra il tempo in cui l'impianto o la macchina può essere utilizzata e il tempo totale(che comprende oltre al tempo di utilizzo anche il tempo di riparazione)
- Livello di prestazioni(efficienza produttiva)-E: data dal rapporto tra produzione reale e quella teorica
- Livello di qualità della produzione-Q: data dal rapporto fra la produzione "buona" e quella totale

In un espressione l'OEE sarà dato da:

$$OEE = A \times E \times Q$$

Dove

$$A = \frac{\text{DURATA DELLA PRODUZIONE PIANIFICATA} - \text{DURATA DEL DOWN TIME NON PREVISTO}}{\text{DURATA DELLA PRODUZIONE PIANIFICATA}}$$

$$E = \frac{\text{PRODUZIONE REALE}}{\text{PRODUZIONE TEORICA}}$$

$$Q = \frac{\text{PRODUZIONE TOTALE} - \text{PRODUZIONE SCARTATA}}{\text{PRODUZIONE TOTALE}}$$

Come si vede dalle definizioni, questo indice è generale e calcolabile per ogni tipologia di industria. Ogni fattore è esprimibile come percentuale e pertanto anche l'OEE varierà in generale tra 0 e 100 %. Sono state individuate 6 principali cause di decremento dell'OEE:

- Perdite per rotture/guasti (sporadiche e/o frequenti)
- Perdite per aggiustaggi e set-up troppo lunghi
- Perdite per velocità ridotte
- Perdite per micro fermate e macchine che funzionano a vuoto
- Perdite per difetti nella qualità
- Perdite per instabilità del processo produttivo al suo avvenimento

A partire dalla determinazione dell'OEE, e conoscendo le cause di perdita, si potrà anche determinare i fattori che penalizzano l'indice complessivo intervenendo in modo mirato per conseguire un miglioramento.

Ciascuna delle cause indicate su uno dei tre fattori

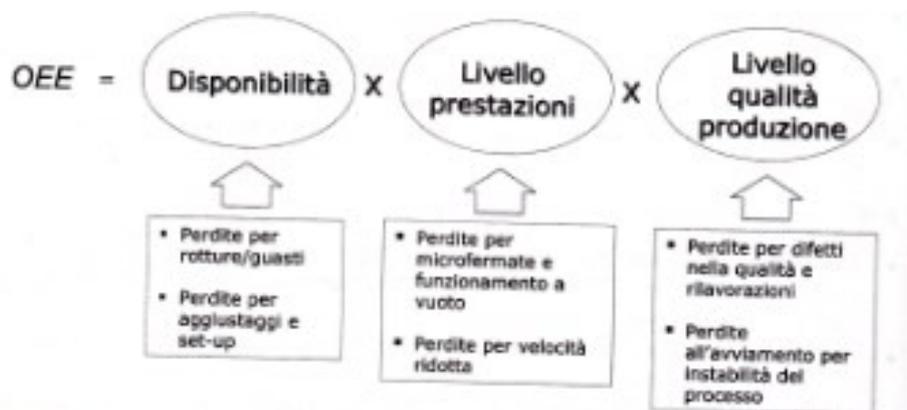


Figura14. Indice O.E.E

Valori dell'OEE inferiori all'80-85 % indicano la presenza di criticità, che devono essere corrette in modo tempestivo, soprattutto nei casi in cui vi sia un trend negativo.



Figura15. Diagramma tempo lordo e tempo utile

Più semplicemente l'OEE può essere visto in questo modo:

$$\text{O.E.E.} = \text{Disponibilità} \times \text{Efficienza prestazioni} \times \text{Tasso Qualità}$$

$$\text{O.E.E. (in tempo)} = \frac{\text{tempo ciclo teorico} \times \text{produzione buona}}{\text{tempo disponibile}}$$

$$\text{O.E.E. (in n° di pezzi)} = \frac{\text{numero di pezzi buoni}}{\text{produzione teorica}}$$

9.2 OVERALL CRAFT EFFECTIVENESS-OCE

Fra gli indici di tipo globale che sono maggiormente diffusi e conosciuti nell'ambito industriale vi è oltre OEE anche l'OCE. Tali indici sono tra loro complementari in quanto se il primo è più vicino agli aspetti impiantistici, il secondo fornisce indicazioni in merito alla efficacia ed efficienza della manodopera, in particolare di quella che è impiegata nell'ambito del processo manutentivo.

L'OCE è un indice specificatamente applicato alla valutazione della produttività della manodopera. L'esecuzione di qualsiasi attività di tipo manuale è legata a parametri di natura personale (abilità, livello di formazione, esperienza) e collettiva.

Come l'OEE anche l'OCE viene calcolato come prodotto di fattori:

- Fattore di efficacia-craft utilizzazione (CU): indica l'utilizzo percentuale della manodopera e corrisponde alla disponibilità del sistema. Esso misura l'efficienza della programmazione della manodopera (gran parte del tempo di ciclo di un intervento è dovuto a spostamenti a vuoto per la ricerca di attrezzature, documentazione, parti di ricambio).
- Fattore efficienza-craft performance (CP): indica la prestazione percentuale della manodopera ed è corrispondente al livello di prestazioni del sistema. Questo indicatore misura quanto è stato efficiente il lavoro in confronto ad uno standard di riferimento. Esso è tanto migliore in relazione alla professionalità della manodopera e a una sua attenzione verso gli obiettivi di efficienza.
- Fattore qualità-craft service quality (CSQ): è il fattore relativo ai metodi di lavoro e al livello qualitativo ed è analogo al livello di qualità della produzione di un sistema; esso può tener conto ad esempio delle ripetizioni dei lavori legati alla scarsa qualità del primo intervento.

In altri termini l'OCE può essere scritto:

$$OCE=CU \times CP \times CSQ$$

Per quanto riguarda la definizione del terzo fattore CSQ questa può essere abbastanza libera poiché questa dipende dal particolare contesto. Essa deve consentire di determinare quanto bene siano eseguiti gli interventi manutentivi in relazione alle modalità operative di svolgimento dei lavori (strumentazione in dotazione, metodi di riparazione, stato dell'officina). Va precisato che il fattore CP può assumere anche valori superiori al 100%, si pensi per esempio ad un intervento di sostituzione eseguito in un tempo inferiore alla durata standard previsto per quel ciclo.

Come nel caso dell'OEE si può stabilire un valore minimo dell'OCE che risulta essere del 50%; questo valore può sembrare basso, ma nella realtà il fattore CU difficilmente supera il 60% e questo penalizza l'indice nel suo complesso.

Elementi di OCE	Range di valori di OCE		
	Basso	Medio	Alto
1. <i>CU</i>	30%	50%	70%
2. <i>CP</i>	>80%	90%	95%
3. <i>CSQ</i>	>90%	95%	98%
Fattore OCE	22%	43%	65%

Figura 16. Range valori O.C.E

Per migliorare l'indice O.C.E. si devono migliorare i singoli coefficienti. L'indice CU misura l'efficienza della manodopera e per migliorarlo posso attuare programmi di manutenzione preventiva o predittiva, avere una gestione accurata dei materiali per la manutenzione e una completezza dei manuali e delle rilevazioni. L'indice CP misura la prestazione della manodopera, per alzare questo indice bisogna insegnare agli addetti a compiere le attività nel miglior modo possibile attraverso corsi di formazione e motivare i singoli nel perseguire gli obiettivi e l'efficienza. L'indice CSQ misura la qualità dei metodi di lavoro, per alzare questo indice l'azienda deve avere sempre attrezzature in ordine e sempre adeguate al macchinario ed eventualmente un area adibita ad officina.

10. MODELLI DI ANALISI FMEA E FMECA

Questi due acronimi identificano FMEA failure mode effect analysis e FMECA failure mode effect Criticality analysis sono delle metodologie utilizzate per l'analisi di guasti o difetti di un processo. Le differenze che esistono tra un processo e l'altro sono che FMEA analizza il modo e gli effetti del guasto, FMECA analizza il modo e gli effetti del guasto e della criticità. La FMEA è un'analisi di tipo qualitativo intesa a definire quello che potrebbe succedere (il modo di guasto/errore) se si verificasse un difetto, una omissione o un errore. La FMECA aggiunge un percorso di tipo quantitativo orientato all'assunzione di decisioni operative coerenti. La FMEA si basa su un mix di tre principi fondamentali:

- È meglio frazionare i grandi problemi per poterli analizzare nel modo migliore
- In un processo produttivo la sezione più critica è quella che ha più rischio (una catena si spezza nel suo anello più debole)
- Principio di Pareto (anche quando molte cause concorrono a creare un problema solo poche sono determinanti).

10.1 FMEA

La tecnica FMEA è stata sviluppata negli USA. Il primo documento che parla di FMEA è una military procedure del 1949, questo documento è stato usato per condurre in modo sistematico le analisi di affidabilità per valutare gli effetti dei disfunzionamenti sul sistema e sui sottosistemi. Le "failure" venivano classificate in base al loro impatto sul successo della missione e dalla sicurezza degli oggetti e delle persone. Successivamente questo sistema è stato utilizzato ed ottimizzato alla NASA con le procedure in figura.

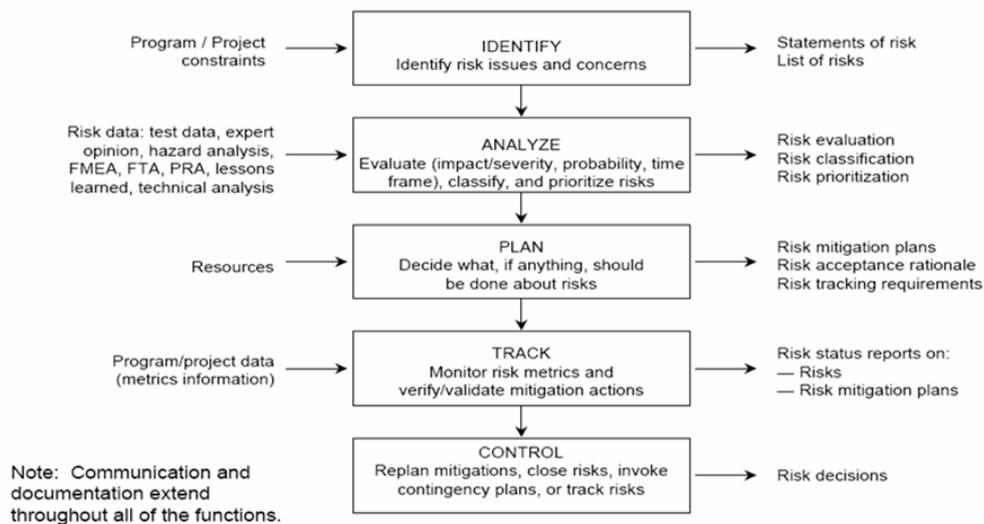


Figura 17. Schema di una procedura FMEA.

La metodologia FMEA procede infatti all'analisi dell'affidabilità di un sistema, in modo per lo più qualitativo; va comunque precisato fin dall'inizio che esso consente di valutare anche altre caratteristiche di un sistema quali la sua manutenibilità, logistica, e diagnostica; si possono menzionare tre principali obiettivi :

- Individuare e analizzare tutti guasti potenziali associati a un certo sistema, valutandone anche gli effetti
- Identificare le azioni volte a eliminare o ridurre in modo sensibile i guasti del sistema e le conseguenze indesiderate associate
- Documentare il sistema da un punto di vista funzionale, in fase sia progettuale sia di esercizio

Questa tecnica, oggi presente in tutti i contesti industriali, ha iniziato da qualche tempo ad essere impiegata anche nell'analisi dei processi organizzativi. Nel corso degli anni è stata sottoposta a una forte attività di standardizzazione e per questo si possono reperire varie normative tecniche di riferimento, ciascuna delle quali identifica particolari affinità al settore in cui è stata sviluppata. L'impostazione dell'FMEA prevede di tracciare un quadro completo relativo al comportamento di un sistema, in tutte le possibili situazioni di impiego e di definire tutte le modalità di guasto. A partire da una conoscenza della struttura gerarchica di un sistema, ovvero della sua scomposizione in livelli successivi e ordinati di dettaglio, si indicano le modalità di guasto e le conseguenze associate.

Nell'esecuzione di un FMEA è necessario tenere presente che i modi di guasto di un singolo componente dipendono dalla sua natura, dalla funzione a cui esso è stato destinato e, in fine, dalle condizioni ambientali in cui si trova ad operare. L'approccio

sistematico e strutturato, unitamente a una documentazione adeguata, consente nella maggior parte dei casi di conseguire consistenti miglioramenti.

L’FMEA è una tecnica dell’ingegneria utilizzata per :

- Identificare
- Analizzare
- Eliminare
- Monitorare
- Riesaminare

Problemi, disfunzioni, avarie o guasti prima che l’evento avvenga.

La fase di definizione del problema oggetto della FMEA risulta chiaramente fondamentale e consiste essenzialmente nello stabilire un appropriato livello di risoluzione per l’analisi e per la descrizione delle condizioni al contorno. Un aspetto della FMEA che va sottolineato è dato dall’analisi funzionale che deve essere eseguita sugli oggetti costituenti un sistema, la quale implica una fase di schematizzazione delle relazioni funzionali presenti. Si può affermare che l’analisi FMEA porta alla costruzione di un albero di sistema, all’interno del quale i rami sono rappresentati da funzioni, modi di guasto ed effetti di guasto, opportunamente strutturati e articolati, in modo da eliminare o ridurre le possibili omissioni, soprattutto in quei casi in cui le dimensioni del sistema siano molto rilevanti.

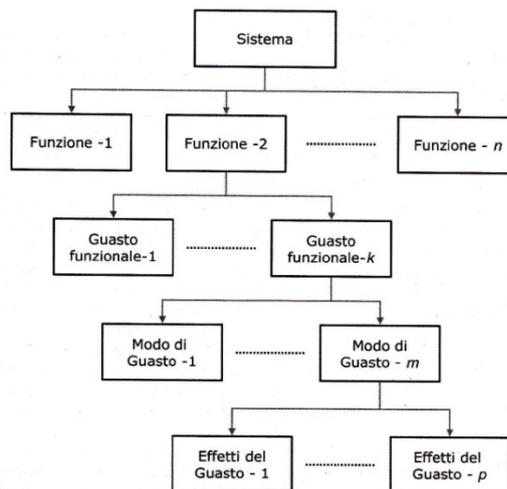


Figura 18. Rappresentazione di uno schema “uno a molti” di un FMEA.

Allo scopo di avere una visione sistematica e completa di ogni “foglia” dell’albero dovrà essere analizzata con queste 3 fasi successive:

- Definizione del problema di studio: prima di tutto dovrà essere individuato l'ambito all'interno del quale lo studio viene effettuato. Successivamente sarà fondamentale definire, nel modo più rigoroso possibile, i confini del problema in modo da poter determinare anche le eventuali interfacce presenti, che devono essere considerate, per giungere a conclusioni corrette e realmente utilizzabili.
- Istituzione di un gruppo di lavoro eterogeneo: il gruppo deve essere composto da personale di manutenzione e di produzione, il personale di programmazione e schedulazione delle risorse e se possibile il progettista.
- Documentazione dei risultati: la preparazione di una documentazione contenente i risultati dell'analisi eseguita, rappresenta sia un'attestazione del lavoro che è stato svolto, sia una base su cui poter misurare i miglioramenti conseguibili con l'applicazione delle risultanze dell'analisi svolta.

Allo scopo di strutturare le varie fasi di analisi sono state sviluppate tabelle del tipo standard contenente varie voci, da compilare in modo più esaustivo possibile; sarà buona norma di volta in volta procedere contestualizzazione delle tabelle e quindi del modello di indagine, a partire però da un modello di riferimento generale. Al termine di un'analisi FMEA la documentazione finale sarà composta da schede di analisi dei singoli oggetti costituenti il sistema, ed è buona norma che queste siano precedute da una descrizione generale del sistema analizzato. L'output più importante dell'FMEA è il RPN (risk priority number) definito come:

$$RPN=S \times O \times D$$

Questo indice è una stima del rischio associato ad un fallimento :

- S= severety gravità del fallimento
- O= occurrency ossia la provabilità del verificarsi dell'evento rischioso
- D= detectability ossia la rilevabilità del guasto
-

Questi valori sono espressi tra 1 e 10 quindi il valore finale di RPN sarà compreso tra 1 e 1000. Per scegliere i valori di S,O,D faccio riferimento a tabelle come ad esempio:

Livello di gravità (G)

Critero Cliente Finale	Punti	Critero Cliente Intermediario
Effetti minimi Il cliente non se ne accorge	1	Alcuna influenza sulle operazioni di fabbricazione e o montaggio
Effetti minimi che il cliente può notare e accettare, ma che non provocano alcuna diminuzioni delle prestazioni	2 o 3	Effetti minimi che si possono notare ed accettare, ma che non provocano disturbi nel flusso produttivo
Effetti che possono causare il malcontento del cliente e ridurre leggermente le prestazioni del prodotto	4 o 5	Leggere perturbazioni del flusso produttivo dovute a operazioni di difficile realizzazione
Effetti che causano il malcontento del cliente che nota una riduzione delle prestazioni ma che richiede una riparazione modesta	6 o 7	Moderate perturbazioni del flusso produttivo dovute a operazioni molto difficili da realizzare ma realizzabili con le attuali tecniche
Effetti che causano grande disappunto del cliente con costi di riparazione elevati	8	Elevate perturbazioni del flusso produttivo dovute a operazioni molto difficili da realizzare non realizzabili con le attuali tecniche
Effetti che causano grande disappunto del cliente con costi di riparazione elevati e fastidi per il cliente stesso	9	Elevate perturbazioni del flusso produttivo dovute a operazioni non realizzabili
Effetti che implicano problemi di sicurezza del cliente	10	Effetti impicanti problemi di sicurezza dell'operatore addetto alla fabbricazione / montaggio / utilizzo

Figura19. Livello di gravità

Livello di probabilità che il difetto si manifesti (P)

Critero	Punti	Frequenza
Difetto inesistente sui prodotti già realizzati simili ed utilizzati per funzioni analoghe. Nessun incidente noto alla clientela. $f \leq 0,01 \%$	1 o 2	< 1 / 100.000 1 / 10.000
Alcuni difetti esistenti su prodotti simili. Molto pochi incidenti noti alla clientela $0,05 \leq f \leq 0,5 \%$	3 o 4	1 / 2.000 1 / 1.000
Difetti apparsi occasionalmente su prodotti simili. Qualche incidente noto alla clientela. $0,2 \leq f \leq 0,5 \%$	5 o 6	1 / 500 1 / 200
Difetti apparsi frequentemente su prodotti simili. Numerosi incidenti conosciuti dalla clientela. $1 \leq f \leq 2 \%$	7 o 8	1 / 100 1 / 50
Apparizione frequente del difetto. Rischio di guasto con riparazione del prodotto. $f \geq 5 \%$	9 o 10	1 / 20 < 1 / 10

Figura20. Livello di provabilità

Livello di rilevabilità del difetto (R)

Critério	Punti
La causa del difetto è individuata al 100% in fase di progettazione. Il progetto è stato validato positivamente e la campionature è conforme.	1
0 < r ≤ 10 % di rischio di non individuare la causa del difetto in corso di progettazione e validazione. Il progetto è stato validato positivamente ma con un campione insufficiente.	2 0 3
10 < r ≤ 30 % di rischio di non individuare le cause del difetto in corso di progettazione e validazione. Il progetto è stato validato positivamente ma con un campione insufficiente e sottoposto a condizioni differenti da quelle previste dai capitolati.	4 0 5
30 < r ≤ 50 % di rischio di non individuare le cause del difetto in corso di progettazione e validazione. Il progetto è stato validato positivamente ma con un campione insufficiente, sottoposto a condizioni differenti da quelle previste dai capitolati e con mezzi con prestazioni inferiori al previsto.	6 0 7
r > 50 % di rischio di non individuare le cause del difetto in corso di progettazione e validazione. Non è possibile assicurare la validazione del progetto.	8 0 9
La validazione del progetto non è stata fatta.	10

Questa griglia è stata riportata a titolo esemplificativo e può essere affinata in funzione delle esigenze aziendali o del prodotto da realizzare.

Figura21. Livello di rilevabilità

Per valori di RPN sotto al 100 sono considerati accettabili, valori compresi tra 100 e 150 necessitano di azioni correttive mentre oltre a 150 necessitano azioni preventive più drastiche e successiva implementazione.

10.2 FMECA

L'analisi FMEA può essere vista come un'estensione quantitativa dell'FMEA, infatti per valutare l'affidabilità di un sistema occorre esprimere una misura della provabilità di accadimento di un evento critico e questo obbliga a porre in cascata alla FMEA una procedura di tipo quantitativo di Critical Analysis (CA) arrivando così alla definizione di della FMECA. L'acronimo FMECA sta ad indicare l'analisi dei modi di guasto, delle effetti e della criticità. La FMECA consente quindi di individuare in modo puntuale le

parti del sistema che sono più deboli dal punto di vista affidabilistico e di comprenderne la natura e l'entità degli effetti associati al malfunzionamento di tali parti, anche a livello di processo all'interno del quale è inserito.

Una FMECA consente inoltre di stabilire una priorità o meglio una gerarchia negli interventi di manutenzione, essendo finalizzata ad un incremento della disponibilità del bene.

L'analisi FMEA è alla base della successiva analisi dell'FMECA la quale attraverso dei coefficienti di criticità, che posso stabilire in base alle condizioni in cui vado ad applicare tale analisi, mi permette di stabilire quantitativamente il rischio di tale guasto. Un'analisi FMECA in un impianto di produzione porta a definire le criticità in base alla severità e alla frequenza dei guasti. Dal punto di vista della severità delle conseguenze, classifica gli Eventi Finali, riguardanti un impianto di produzione, secondo quattro categorie di eventi di severità decrescenti:

-1° Catastrofica, cioè la massima prevedibile; generalmente implica anche perdite di vite umane. Nel caso di un impianto, viene considerato catastrofico l'evento di grave danneggiamento dell'impianto. Tale evento, infatti, in mancanza di funzionamento adeguato delle protezioni porta alla distruzione di parti essenziali dell'impianto stesso. Si sono esclusi eventi che coinvolgessero la vita umana, non trattandosi in questa sede di sistemi rilevanti ai fini della sicurezza.

-2° Critica, cioè assai grave e che può portare al fallimento della missione. Consiste nel rispetto della disponibilità di obiettivo e che essa viene valutata dal tempo medio in cui l'impianto funziona a piena potenza, è stato qui considerato critico un evento che porti ad un degrado di potenza maggiore o uguale al 25%.

-3°. Condizione Limite, in genere coincidente con un degrado di funzionamento non incompatibile col raggiungimento della missione. Si considera un evento che porti ad un degrado di potenza inferiore al 25% per un tempo limitato, quindi senza danneggiamento del macchinario o al blocco in emergenza del Gruppo.

-4°. Tollerabile, cioè che non ha alcun effetto pratico ai fini del raggiungimento della missione. In genere coincide con degradi di funzionamento del tutto tollerabili per un tempo indeterminato o che non hanno effetto sulla missione.

Dal punto di vista della frequenza, la metodologia FMECA classifica inoltre gli eventi, in 5 categorie:

- 1. - E = estremamente remota
- 2. - D = remota
- 3. - C = Occasionale
- 4. - B = Ragionevolmente Probabile
- 5. - A = Frequente

L'associazione delle 5 categorie con soglie di probabilità adeguate è un elemento di giudizio che dipende dal problema in esame. Nei casi di rilevanza commerciale, si assume il criterio di dimensionare le 5 soglie corrispondenti alle 5 categorie in funzione dell'MTBF stimato dell'Impianto. Normalmente le soglie per un impianto vengono definite con queste provabilità:

$$\text{Prob}(E) > 10^{-4},$$

$$\text{Prob}(D) = 10^{-4},$$

$$\text{Prob}(C) = 10^{-3},$$

$$\text{Prob}(B) = 10^{-2},$$

$$\text{Prob}(A) = 10^{-1},$$

In questo modo, ciascun componente, fonte di guasto per l'impianto, può appartenere a 20 possibili categorie di criticità: da A1 a E4. I valori sopra riportati delle probabilità, associati alle frequenze A, B, C, D, E degli eventi, sono associati anche alla Severità degli Effetti finali temuti sull'Impianto (END EFFECT).

In TABELLA A è riportata la associazione tra:

- i gradi di severità degli eventi finali (End Effect) e gli eventi stessi,
- le frequenze di evento e le loro denominazioni convenzionali;

Tale associazione viene utilizzata nella Tabella A, "CRITICALITY MATRIX", dove vengono messe in relazione diretta le severità degli End Effect e le loro frequenze.

GRUPPO FREQUENZE		END EFFECT	
Denominazione	Valore Probabilità	Denominazione	Grado Severità
A	0,1	Danneggiamento a persone e alle macchine per lungo tempo e una potenza maggiore del 25%	1
B	0,01	Danneggiamento alle macchine per lungo tempo e una potenza minore del 25%	2
C	10^{-3}	Blocco del Gruppo in emergenza	3
D	10^{-4}	Blocco del Gruppo pilotato	4
E	$<10^{-4}$	Degrado Affidabilità. Impianto	4

Tabella A. tabella raffigurante severità e provabilità

Allo scopo di individuare meglio la criticità dei componenti, cioè il loro peso nel contribuire alla indisponibilità dell'impianto, si possono considerare i seguenti parametri aggiuntivi secondo il metodo seguente:

- Scomporre l'impianto o la macchina nei suoi sottoinsiemi o nei principali componenti (da FMEA)
- Compilare una lista dei modi di guasto (da FMEA) ed il fattore provabilistico con cui si manifesta (α)
- Analizzare per ogni modo di guasto, la possibile causa di guasto e del sintomo di guasto (da FMEA), definendo anche la provabilità/incertezza con cui il modo di guasto si manifesta (β)
- Stimare gli effetti di ciascun modo di guasto sul funzionamento (da FMEA)
- Stimare la criticità associabile a ciascun effetto
- Definire il tasso di guasto (λ)
- Definire la più appropriata manutenzione da applicare e le aree per cui è necessario sviluppare attività/procedure manutentive da attuare.

L'indice di criticità calcolato è definito come:

$$I = \alpha \times \beta \times \lambda \times t$$

α = provabilità di guasto imputabile ad dato modo di guasto

β = provabilità percentuale che dato il modo di guasto, l'effetto associato si verifichi con la gravità ipotizzata

λ = tasso di guasto

t = tempo operativo

Tutti questi indici di provabilità possono essere assunti avendo dati storici riguardanti l'impianto o il componente altrimenti devono essere presi nel modo più oggettivo possibile. La FMECA permette quindi di definire operazioni ed istruzioni di manutenzione, primariamente basate su prevenzione e riduzione dei guasti sull'impianto/sistema/macchina in piani di manutenzione divisi per politica. Concludendo questi tipi di analisi FMEA e FMECA non sono una tecnica di problem solving; può tuttavia essere applicata anche a posteriori su un prodotto e su un processo di lavoro, soprattutto se non lo si è fatto preventivamente, per evidenziarne punti critici e classificarli per priorità prima di intervenire con gli strumenti del miglioramento continuo. Può inoltre essere ripetuta per sottolineare cambiamenti nelle valutazioni per effetto delle modifiche delle conoscenze teoriche o dell'esperienza del prodotto/servizio. La formalizzazione della valutazione si ottiene attraverso:

- la standardizzazione del processo valutativo;
- l'ancoraggio dello stesso al punto di vista dell'utilizzatore (cliente interno e finale);
- il ricorso a gruppi multidisciplinari di esperti.

10.3 ESEMPIO DI ANALISI FMECA

Un esempio di analisi FMECA è riportato qui di seguito. L'analisi in questo caso è stata applicata su un' attrazione di Gardaland (SEQUOIA ADVENTURE).

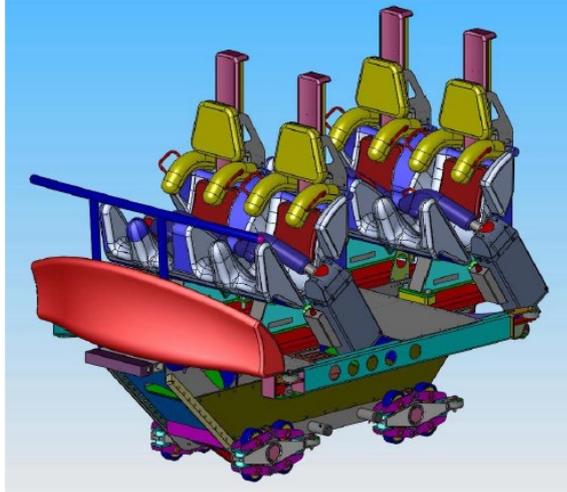


Figura 22. Disegno del carrello porta passeggeri Sequoia Adventure

Il processo è stato seguito in questo modo:

1. Identificare tutti i potenziali pericoli (passeggero, pubblico, operatori e manutentori)
2. Identificare i guasti, gli errori umani che possono causare/guidare un "incidente"
3. Classificare i pericoli
4. Assegnare la probabilità che un certo evento possa capitare
5. Identificare le misure preventive da intraprendere per limitare il rischio di incidente e guasto

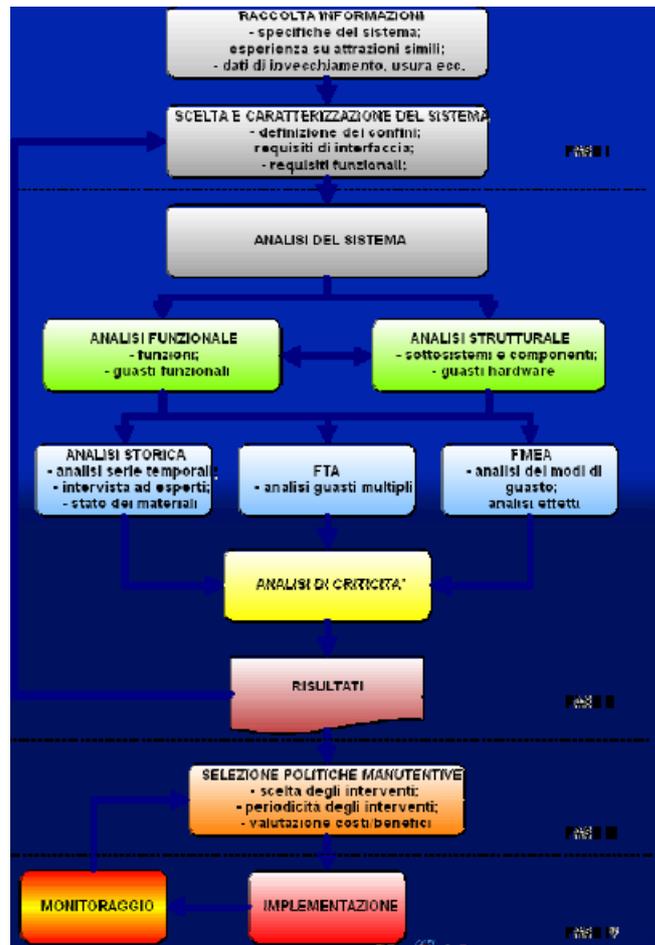


Figura23. Schema procedura di analisi

Come punto di maggior criticità è stato scelto il sistema di bloccaggio formato dal sedile, dalla chiusura addominale e dal sedile. Ognuno di questi sistemi è stato suddiviso in sottoinsiemi e su ogni singolo componente è stata applicata la FMECA secondo la seguente tabella di criticità:

CLASSE	CRITICITA'	DESCRIZIONE
1	safe/non pericoloso	non si hanno conseguenze per l'operatività dell'attrazione o sicurezza
2	minor/marginale	avviso senza fermo attrazione, il livello di sicurezza potrebbe essere ridotto
3	major/importante	fermo attrazione in sicurezza con totale perdita di operatività
4	critical/critico	fermo attrazione con danno agli equipaggiamenti
5	catastrophic/catastrofico	infortunio con pericolo di morte

Figura24. Tabella criticità

secondo la seguente tabella di provabilità...

CLASSE	STIMA	DESCRIZIONE
1	highly unlikely/altamente improbabile	l'occorrenza di questo evento non è probabile (atteso) durante la vita dell'attrazione
2	unlikely/improbabile	l'occorrenza di questo evento non è probabile (atteso) ma potrebbe accadere durante la vita dell'attrazione
3	likely/probabile	l'occorrenza di questo evento è probabile (atteso)
4	highly likely/altamente probabile	l'occorrenza di questo evento può accadere più volte durante la vita dell'attrazione

Figura25. Tabella provabilità

...per ogni sottoinsieme è stata valutata la matrice di rischio.

F					
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	5
	C				

Figura26. Matrice di rischio

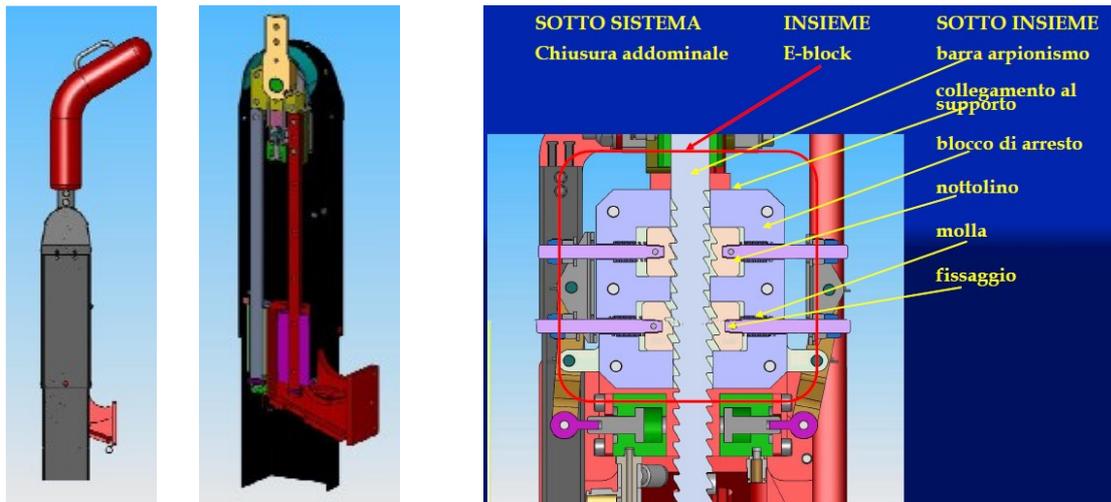
Definendo con R (rischio):

$$R=C \times F$$

C= è la criticità definita sulla tabella precedente

F= é la provabilità che questo accada

Prendo in considerazione la chiusura addominale



La compilazione della tabella riferita in questo caso alla chiusura addominale avviene in questo modo:

albero	SOTTO SISTEMA	INSIEME	SOTTO INSIEME	FAILURE MODE	FAILURE EFFECT		C	P	COMPENSAZIONE		
					Locale	Sistema			PROGETTO	MANUTENZIONE	APERATORI
1.03.01	Chiusura addominale	E-block	barra arpionismo	rottura barra	perdita del bloccaggio, la slitta è libera di muoversi	passaggeri potrebbero uscire dalla chiusura	5	1	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza		
				deformazione locale	movimento non fluido, nottolino potrebbe non ingranare	ritardo nella chiusura, passeggeri potrebbero uscire dalla chiusura			5	2	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza
1.03.02			collegamento al supporto	rottura del sostegno	perdita del bloccaggio, la slitta è libera di muoversi	passaggeri potrebbero uscire dalla chiusura	5	1	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza, molla chiusa		
				deformazione locale	movimento non fluido, nottolino potrebbe non ingranare	ritardo nella chiusura, passeggeri potrebbero uscire dalla chiusura			5	2	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza, molla chiusa
1.03.03			blocco di arresto	rottura del blocco	perdita del bloccaggio, la slitta è libera di muoversi	passaggeri potrebbero uscire dalla chiusura	5	1	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza, molla chiusa		
				deformazione locale	movimento non fluido, nottolino potrebbe non ingranare	ritardo nella chiusura, passeggeri potrebbero uscire dalla chiusura			5	2	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza, molla chiusa
1.03.04			nottolino	rottura nottolino	perdita del bloccaggio, la slitta è libera di muoversi	passaggeri potrebbero uscire dalla chiusura	5	1	aumentare il fattore di sicurezza, ridondanza		

Figura27. Tabella di analisi

La lettura di questa tabella definisce i punti più rischiosi definendo insieme e sottoinsieme e ad ogni singolo componente viene individuata una classe di rischio preventivamente definita. In questa tabella vengono elencati i possibili modi di guasto (failure mode) con i successivi effetti di questo guasto (failure effect), ed affianco vengono descritte le possibili compensazioni che posso essere fatte in fase di progetto, in fase do manutenzione ed in fase di controllo dagli operatori.

11. CONSIDERAZIONI SU STRATEGIE E FUNZIONI DELLA MANUTENZIONE E INDICI

Dalla panoramica esposta precedentemente emergono le seguenti considerazioni:

- La scelta della politica di manutenzione dipende generalmente da tutti i fattori che caratterizzano la gestione di un sistema di macchina e trovare un'unica politica manutentiva di tutto il sistema è molto difficile poiché ogni macchina è caratterizzata da ratei di guasti diversi e specialmente funzioni diverse.
- La situazione per cui un impianto rimanga indenne da guasti nel corso di tutta la sua vita sembra, al momento, irraggiungibile, tuttavia l'esigenza di ridurre al minimo l'indisponibilità (e i costi) che derivano sia dall'avaria che dall'intervento di riparazione sta spingendo i management verso l'adozione di tecniche di manutenzione sempre più sofisticate e integrate sia nell'ambito della stessa manutenzione che dell'intera azienda.
- Per molte politiche di intervento non esiste, come visto nei paragrafi precedenti, una netta distinzione o un limite di competenza se non definiti dalle effettive esigenze dell'impianto. Le politiche di manutenzione preventiva e predittiva sono tra loro sostanzialmente complementari sotto diversi aspetti e la scelta di adottarle e del grado con cui implementarle nel sistema dipende da una corretta analisi della situazione delle macchine e da un'attenta valutazione di carattere economico. Allo stato attuale, inoltre, l'applicazione di una manutenzione preventiva pura non consente di liberarsi della componente correttiva, con la quale si deve necessariamente convivere per affrontare quella quota di guasti accidentali che si manifestano inevitabilmente.
- La TPM, con il suo elevato grado di integrazione aziendale, si basa a livello operativo su tecniche preventive note, ma difficilmente può essere applicata in un ambiente di lavoro non ancora culturalmente maturo per capirla ed apprezzare le caratteristiche di efficienza.
- La soluzione migliore per una corretta manutenzione viene fatta attraverso gli indici O.E.E o O.C.E per impianti e sistemi dove si vogliono raggiungere livelli alti di affidabilità ed efficienza, per sistemi ed impianti molto grandi dove si vuole ridurre al minimo o annullare la possibilità di guasti e rischi si affronta la tematica di manutenzione attraverso l'FMEA e FMECA che sono modelli di analisi molto più completi e complicati che permettono di analizzare l'intero impianto e indicare all'azienda i punti più rischiosi e critici in modo tale da indirizzare più risorse a quello specifico macchinario.

12. NORMATIVE

costituiscono un importante riferimento per ogni attività collegata alla manutenzione: la loro conoscenza è utile per stabilire una guida nella definizione e attivazione dei processi.

Tali conoscenze sono sostanziali per attività di ingegneria di manutenzione, al fine di uniformare le terminologie adottate, gli indicatori prestazionali utilizzati, la definizione delle politiche manutentive, la gestione dei vari processi connessi all'interno dell'azienda e nei confronti delle altre società.

L'approccio corretto alla cosiddetta Ingegneria costituisce il primo e fondamentale passo per ottimizzare la manutenzione.

UNI EN 13306 : 2010 - Manutenzione - Terminologia

La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 13306 (edizione aprile 2001). La norma specifica i termini generici e le loro definizioni per le aree tecniche, amministrative e gestionali della manutenzione. La sua applicazione non è prevista per i termini utilizzati esclusivamente per la manutenzione di programmi di informatica.

UNI EN 13460:2009 - Manutenzione - Documenti per la manutenzione

La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN 13460 (edizione maggio 2002). La norma fornisce delle linee guida generali per: la documentazione tecnica da allegare ad un bene, prima della sua messa in servizio, per essere di supporto alla sua manutenzione; la documentazione delle informazioni da stabilire durante la fase operativa di un bene, per essere di supporto ai requisiti di manutenzione.

UNI 9910 Terminologia sulla fidatezza e sulla qualità del servizio

Il presente documento è stato adottato anche dal CEI come Norma italiana CEI 56-50. Presenta i termini fondamentali nel campo della fidatezza e della qualità del servizio. È la traduzione delle definizioni dei termini riportati nel Vocabolario Elettrotecnico Internazionale (IEV), Pubblicazione IEC 50(191), ed. 1990. Queste definizioni sostituiscono la precedente terminologia per l'affidabilità riportata nelle relative Norme CEI del CT 56 (S.497 del 1977, S.566 del 1980 e S.661 del 1984) ed UNI 8000 e costituiscono una base internazionale comune dei termini e relative definizioni. Per facilitare la ricerca sul Vocabolario IEC 50 Cap. 191 la presente Norma riporta i termini

anche in lingua inglese e francese e inoltre vengono mantenuti gli stessi riferimenti, Sezioni e paragrafi, della Pubblicazione IEC 50 (191).

UNI 10144; 26 ott. 2006 - Classificazione dei servizi di manutenzione

Ha lo scopo di classificare i servizi di manutenzione sotto l'aspetto di: tipologia dei servizi, specializzazioni del servizio, modalità, ambiti, al fine di avere un unico riferimento per tutte le norme che riguardano la contrattualistica di manutenzione.

UNI 10145; 8 mar. 2007 - Definizione dei fattori di valutazione delle imprese fornitrici di servizi di manutenzione

Ha lo scopo di stabilire una serie di fattori di giudizio significativi per la valutazione di una impresa fornitrice di servizi di manutenzione. Non fornisce criteri di valutazione, né valori minimi di accettabilità, ma suggerisce i fattori di valutazione di carattere generale e di orientamento atti ad accertare in che misura l'impresa è in grado di soddisfare le esigenze dell'utilizzatore. Essa pertanto non si occupa di assicurazione della qualità o di conduzione aziendale per la qualità, argomenti già affrontati dalle norme serie UNI EN serie 29000. Essa ha carattere generale e orientativo e può essere integrata da norme specifiche per le varie tipologie di servizi. I fattori di giudizio sono: informazioni acquisibili per via documentale e valutazione sull'impresa attraverso visita.

UNI 10147; 1 ott. 2003 - Manutenzione - Termini aggiuntivi alla UNI EN 13306 e definizioni

La norma fornisce i termini più usati nel settore Manutenzione che vanno letti unitamente a quelli utilizzati nella EN 13306

UNI 10224; 15 feb. 2007 - Manutenzione. Principi fondamentali della funzione manutenzione

Indica principi, criteri e metodi per istituire, organizzare, gestire e migliorare la funzione manutenzione di un'impresa. Appendice A: Questionario di autodiagnosi, che permette di controllare lo stato dell'organizzazione e gestione della funzione manutenzione all'interno di un'impresa; Appendice B: Esempi di organigrammi del Servizio Manutenzione.

UNI 10366; 22 feb. 2007 - Manutenzione. Criteri di progettazione della manutenzione

Specifica i criteri e i metodi generali di progettazione della manutenzione al fine di indirizzare nella scelta: delle politiche di manutenzione, in funzione delle caratteristiche e del comportamento dei beni in coerenza con gli obiettivi aziendali; delle risorse e degli strumenti operativi necessari per l'attuazione delle politiche individuate; per poter ottimizzare i costi e i risultati aziendali. La presente norma si applica alla funzione manutenzione di imprese gestite con criteri industriali.

UNI 10584; 31 gen. 1997 - Manutenzione. Sistema informativo di manutenzione

Si propone di studiare i sistemi informativi usati nel settore della manutenzione.

UNI 10749-1; 1 ott. 2003 - Manutenzione - Guida per la gestione dei materiali per la manutenzione - Aspetti generali e problematiche organizzative

La norma illustra gli aspetti generali nella gestione dei materiali per la manutenzione e fornisce alcuni esempi sulla collocazione della funzione "gestione dei materiali tecnici" in un organigramma aziendale e i suoi possibili collegamenti con altre funzioni, al fine di orientare ad una scelta.

UNI 10992; 1 set. 2002 - Previsione tecnica ed economica delle attività di manutenzione (budget di manutenzione) di aziende produttrici di beni e servizi - Criteri per la definizione, approvazione, gestione e controllo

La norma fornisce indirizzi per la previsione tecnica ed economica (budget) delle attività di manutenzione. La previsione tecnico-economica non è disgiunta dall'efficacia, che non viene però verificata dalla norma.

UNI 11063; 1 mag. 2003 - Manutenzione - Definizioni di manutenzione ordinaria e straordinaria

La norma fornisce una classificazione delle attività di manutenzione, distinguendo tali attività in "manutenzione ordinaria" e "manutenzione straordinaria". Essa integra la terminologia descritta nelle UNI EN 13306, UNI 9910 e UNI 10147, in uso nella manutenzione, allo scopo di uniformare i comportamenti degli utenti. Si applica a tutti i settori in cui è prevista un'attività di manutenzione.

13. BIBLIOGRAFIA

Lorenzo Fedele, Luciano Furlanetto, Daniele Saccardi, "Progettare e gestire la manutenzione", McGraw-Hill, Milano 2004.

Riccardo Manzini, Alberto Regattieri, "Manutenzione dei sistemi di produzione", Progetto Leonardo, Esculapio, Bologna 2006.

Luciano Furlanetto, "Manuale di manutenzione degli impianti industriali e servizi", Ed. FrancoAngeli, Milano 1998.