

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA



Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea

**POLITICHE MANUTENTIVE DEGLI
IMPIANTI INDUSTRIALI
MAINTENANCE POLICIES OF INDUSTRIAL PLANTS**

Relatore: Chiar.mo Prof. Alessandro Persona

Laureando: Marco Caoduro

Matricola n. 578142

ANNO ACCADEMICO 2010 / 2011

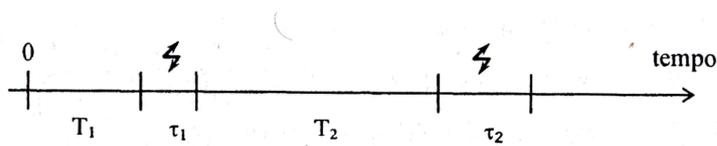
Indice

<u>1.</u>	Introduzione alla manutenzione dei sistemi produttivi	3
1.1.	Considerazioni generali.....	3
1.2.	La funzione manutenzione nell'ottica aziendale.....	6
1.3.	Il processo produttivo e il processo manutentivo.....	7
<u>2.</u>	Elementi di teoria dell'affidabilità, manutenibilità e disponibilità	10
2.1.	Introduzione alla teoria dell'affidabilità	10
2.2.	Definizione dei parametri affidabilistici	12
2.2.1	L'affidabilità	12
2.2.2	Il rateo di guasto.....	13
2.2.3	La disponibilità	16
2.2.4	La manutenibilità	20
<u>3.</u>	Affidabilità dei sistemi complessi	23
<u>4.</u>	Politiche e strategie di manutenzione	27
4.1.	Strategie manutentive.....	27
4.1.1.	La manutenzione a guasto o correttiva	29
4.1.2.	La manutenzione preventiva	29
4.1.3.	La manutenzione predittiva.....	31
4.1.4.	La manutenzione migliorativa	33
4.2.	La manutenzione produttiva (TPM).....	35
4.2.1.	Concetti base della Total Productive Maintenance.....	35
4.2.2.	I cinque pilastri della TPM.....	36
4.2.3.	Efficienza totale di impianto (OEE).....	39
4.2.4.	Il processo di implementazione della TPM.....	43
4.3.	La scelta della strategia di manutenzione più opportuna	45
4.4.	Conclusioni	50
<u>5.</u>	Normativa	51
<u>6.</u>	Bibliografia	54

1. Introduzione alla manutenzione dei sistemi produttivi

1.1. Considerazioni generali

Una generica attrezzatura di un impianto industriale (produttore di beni o servizi) ha un ciclo vita caratterizzato da un'alternanza di periodi in cui può compiere correttamente la propria missione e periodi in cui la produzione è parzialmente o completamente compromessa da un guasto e risulta interrotta dalla successiva riparazione. La Figura 1.1 schematizza questa alternanza di “intervalli” di lavoro e di fermata.



T_i : intervalli di funzionamento nominale

τ_i : intervalli di fermo (o funzionamento ridotto) e di riparazione

Figura 1.1 Generico ciclo di vita di un'attrezzatura industriale

La *manutenzione* è la funzione aziendale che ha la supervisione di tutti gli impianti di produzione di beni e di servizi e che deve progettare, organizzare e realizzare degli interventi con lo scopo di garantire la potenzialità nominale ed il buon stato di conservazione delle attrezzature nei periodi di funzionamento T_i , ovvero di minimizzare gli intervalli di fermo τ_i necessari per ripristinare queste caratteristiche.

Inoltre la manutenzione si deve occupare di mettere in campo tutte quelle procedure gestionali di supporto alle attività eseguite direttamente sugli impianti, come ad esempio la gestione dei ricambi, la gestione delle conoscenze degli operatori ed altre ancora.

Le procedure manutentive impattano sulle realtà produttive a vari livelli, in particolare possiamo considerare i seguenti aspetti:

- *patrimoniale* gli impianti rappresentano immobilizzi di denaro molto elevati che per necessità vanno remunerati al meglio;
- *tecnologico* il cattivo stato dell'impianto può compromettere la qualità del prodotto e/o del servizio erogato;
- *economico* la mancata produzione e la difettosità riducono gli utili;
- *sociale/legale* attrezzature in cattive condizioni possono provocare infortuni, inquinamenti e problemi di sicurezza.

Le attività di manutenzione possono contribuire significativamente al raggiungimento degli obiettivi di produttività del sistema. Tuttavia esse consumano risorse tecniche ed economiche significative ed in qualche caso decisamente rilevanti. Per queste ragioni appare subito chiaro che la scelta del “livello” del sistema di manutenzione da implementare nasconde un problema di compromesso (*trade-off*). L’obiettivo finale deve essere la massimizzazione del vantaggio complessivo: per questa ragione la sofisticazione dell’approccio va di volta in volta calibrata e valutata alla luce della fattispecie reale che si deve fronteggiare.

In linea generale si può osservare che nel tessuto industriale italiano vi è una chiara tendenza alla sottovalutazione dell’importanza della manutenzione (*vedi indagine A.I.MAN. sulle politiche manutentive italiane*). Questo comportamento fa sì che il problema della ricerca del miglior trade-off sia in realtà da trasformare nel tentativo di diffondere maggiormente l’importanza dell’applicazione delle tecniche manutentive nei sistemi produttive.

Indagine A.I.MAN. (Associazione Italiana di Manutenzione) sullo stato della manutenzione nelle PMI italiane

L’Associazione Italiana di Manutenzione, una delle principali associazioni italiane che si occupano di manutenzione, periodicamente esegue delle ricerche volte ad analizzare lo sviluppo delle tematiche manutentive nelle aziende del nostro paese con particolare riferimento alle piccole e medie imprese (PMI), fondamentale tessuto connettivo dell’industria nazionale.

Con riferimento ai risultati nell’anno 2004, l’indagine ha interessato un campione formato da 174 aziende con un numero di addetti compreso fra 2 e 200 ed un fatturato compreso fra 500 mila e 50 milioni di euro.

Lo studio voleva evidenziare quattro aspetti principali: l’esistenza della funzione manutenzione, le politiche di manutenzione seguite, il livello di programmazione dei lavori e infine l’incidenza dei costi di manutenzione rispetto al fatturato.

I principali risultati possono essere sintetizzati mediante alcune tabelle:

<i>dipendenti</i>	<i>presenza funzione manutenzione</i>
<i>1÷15</i>	29%
<i>16÷50</i>	53%
<i>>50</i>	85%

Tabella 1.1 Esistenza della funzione manutenzione

<i>dipendenti</i>	<i>manutenzione a guasto</i>	<i>manutenzione preventiva</i>	<i>manutenzione su condizione</i>
<i>1÷15</i>	38%	39%	23%
<i>16÷50</i>	41%	35%	24%
<i>>50</i>	42%	44%	14%

Tabella 1.2 Politiche di manutenzione

<i>dipendenti</i>	<i>presenza programmazione dei lavori</i>
1÷15	58%
16÷50	67%
>50	60%

Tabella 1.3 Livello di programmazione dei lavori

<i>dipendenti</i>	<i>Incidenza costo manutenzione/fatturato</i>
1÷15	2,38%
16÷50	2,97%
>50	1,98%

Tabella 1.4 Incidenza del costo della manutenzione sul fatturato

Le principali evidenze sperimentali portano a concludere che la manutenzione assorbe un significativo costo aziendale (circa il 2% del fatturato) e quindi ad essa devono essere dedicati interesse e attenzione. Tuttavia la situazione legata all'esistenza della funzione manutenzione è poco incoraggiante: mentre può essere comprensibile la scarsa diffusione di una funzione dedicata nelle aziende con pochi dipendenti (29% per le imprese con meno di 15 addetti, ove usualmente la manutenzione è a carico degli stessi operatori di macchina), meno giustificabile è la non completa diffusione in realtà di maggiori dimensioni. Sicuramente da segnalare in negativo l'85% per le aziende con più di 50 dipendenti.

Per quanto attiene al tipo di attività svolte, lo studio fa emergere una situazione ancora strettamente legata agli interventi a seguito del guasto, con diffusione ancora insufficiente di politiche preventive ed ispettive. La letteratura internazionale indica come obiettivi di riferimento, anche se ovviamente da verificare nella specifica realtà di ogni caso, il 10-15% di interventi a guasto, il 30-40% di manutenzione preventiva ed il rimanente 45-60% di manutenzione su condizione. Discreto appare in fine il livello di programmazione delle attività di manutenzione, indipendentemente dal numero di addetti circa il 60% degli interventi (chiaramente esclusi quelli a guasto) è soggetto a programmazione.

In conclusione la ricerca A.IMAN. conferma l'importanza della tematica della manutenzione all'interno degli impianti industriali e altresì conferma una situazione italiana non ancora sufficientemente consapevole di questa rilevanza e di conseguenza ancora bisognosa di attività di ricerca e di applicazioni reali.

1.2. La funzione manutenzione nell'ottica aziendale

La funzione manutenzione per rappresentare una valida risorsa produttiva deve essere fortemente legata ed integrata con le altre principali funzioni aziendali. I principali enti dell'impresa le cui attività hanno interesse anche per l'ambito della manutenzione sono:

- progettazione;
- programmazione della produzione;
- pianificazione del lavoro;
- assicurazione e controllo della qualità;
- approvvigionamento dei materiali;
- pianificazione strategica;
- direzione del personale;
- amministrazione;
- centro di elaborazione dati.

Fra queste relazioni quelle che hanno maggiore rilevanza attengono ai legami con la programmazione della produzione, il servizio di controllo qualità, il servizio approvvigionamenti e la gestione delle risorse umane.

Programmazione della produzione. Per ottenere delle buone prestazioni dell'impianto industriale il flusso dei materiali in produzione deve essere il più possibile continuo e senza interruzioni. In questo senso è importante uno stretto collegamento del servizio manutenzione con la funzione di programmazione della produzione, in modo che le politiche e gli interventi manutentivi garantiscano la massima disponibilità delle attrezzature produttive senza intralciare i piani di produzione, anzi in piena sinergia con essi attraverso una programmazione complessiva, che integri le due funzioni.

Controllo della qualità. Per una ottimale gestione del flusso dei materiali in lavorazione verso la distribuzione è necessario fronteggiare il problema della difettosità e degli scarti, che oltre a rappresentare uno scarto, riducono il livello del servizio al cliente, inducono continui aggiustamenti ai piani di produzione e ripetizioni del lavoro. Ciò può essere evitato con uno stretto collegamento fra il servizio di controllo qualità ed il servizio manutenzione, che intervenendo tempestivamente con appropriate politiche può ridurre drasticamente o eliminare il problema.

Gestione degli approvvigionamenti. La corretta gestione di un sistema di produzione richiede l'impiego di materiali di consumo e di ricambio, di conseguenza sono necessarie efficaci tecniche per il loro approvvigionamento in modo da assicurare elevati livelli di disponibilità delle macchine e la continuità della produzione. Il servizio manutenzione deve definire in modo inequivocabile le "specifiche" di quanto acquistato. Se necessario deve condurre esperimenti e prove, ma deve lasciare al servizio approvvigionamenti e agli esperti del settore commerciale il perfezionamento dell'approvvigionamento. Arrivata la merce, il servizio manutenzione ha il compito di collaudare quanto pervenuto respingendo quanto non risponde alle richieste.

Gestione delle risorse umane. La manutenzione richiede forza lavoro e competenze, di conseguenza è necessaria una selezione e poi la successiva gestione delle risorse umane ritenute adatte al ruolo. Per la specifica delle mansioni e delle conoscenze richieste questa ricerca di personale è spesso delicata e deve essere effettuata con grande attenzione.

Inoltre, va segnalata l'importanza del recupero e della gestione delle informazioni provenienti dal sistema produttivo. Per questa ragione è fondamentale il legame fra la divisione Manutenzione e il Centro Elaborazione Dati (CED) aziendale.

1.3. Il processo produttivo e il processo manutentivo

Nei moderni sistemi di produzione oltre al *processo di produzione* può essere individuato un processo legato al complesso delle attività di manutenzione, che possiamo sinteticamente definire come *processo manutentivo*. Questa schematizzazione deriva direttamente dalla seguente osservazione: l'output principale del sistema è il prodotto finito, peraltro ne esiste uno secondario ovvero la richiesta di manutenzione. Questa richiesta può essere direttamente collegata al fenomeno della rottura (*failure*) dell'impianto produttivo o alla necessità di espletare delle attività che riducano la probabilità che essa si verifichi o che vengano mantenuti i livelli di prestazione prefissati. La richiesta innesca delle azioni che nel caso di guasto sono principalmente volte alla eliminazione del problema.

La Figura 1.2 mostra le principali relazioni che si stabiliscono tra gli obiettivi organizzativi, il processo di produzione e il sistema manutentivo in un sistema di produzioni di beni e/o servizi.

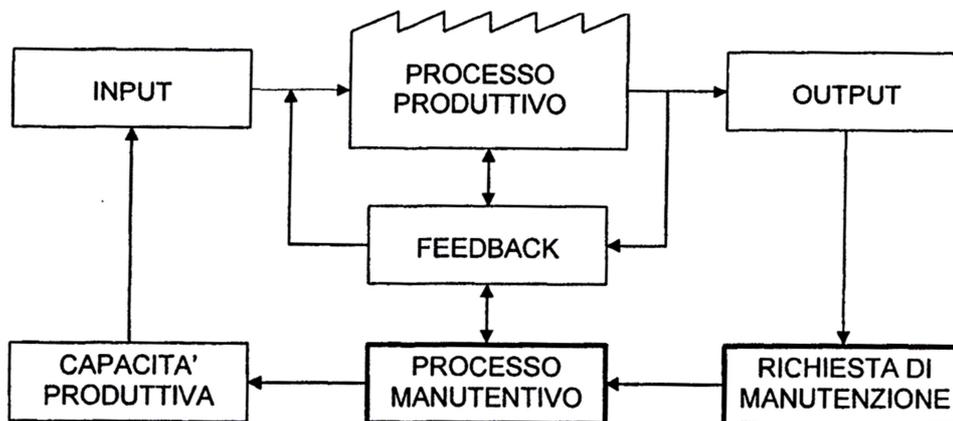


Figura 1.2 Processo produttivo e processo manutentivo

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 "tampone" 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 1.3. 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.

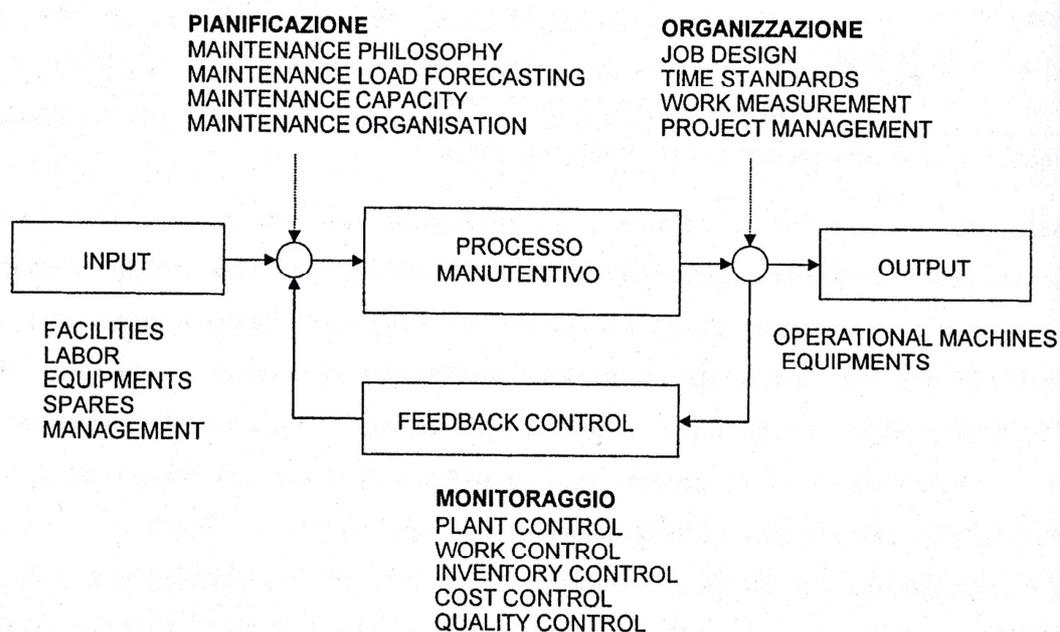


Figura 1.3 Attività caratteristiche del processo manutentivo

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*.

2. Elementi di teoria dell'affidabilità, manutenibilità e disponibilità

2.1. Introduzione alla teoria dell'affidabilità

La qualità del ciclo di vita di una macchina o di un suo componente deve essere valutata in relazione alla durata per esso prevista, alla complessità degli interventi di manutenzione, al numero e alla gravità dei guasti in esso occorsi. Partendo dallo studio delle leggi di occorrenza dei guasti, la *teoria dell'affidabilità* è quell'insieme di teorie e di metodi matematici che si traducono in procedure organizzative rivolte alla soluzione di problemi di previsione, stima, ottimizzazione delle probabilità di sopravvivenza, durata media della vita, percentuale di tempo di buon funzionamento di un sistema.

La valutazione su basi statistiche dell'affidabilità sostituisce, laddove la tipologia della struttura e del suo utilizzo lo richiedano, il più semplice e più largamente utilizzato "coefficiente di sicurezza", consentendone anche una più razionale e motivata stima e valutazione, essendo possibile porre in relazione l'affidabilità e il coefficiente di sicurezza.

I criteri affidabilistici si vanno sempre più diffondendo nel mondo industriale per diversi motivi:

- l'aumentata complessità dei prodotti che, in assenza di procedure mirate, incrementa le loro probabilità di guasto;
- la difficoltà di manutenzione di certe macchine o strutture;
- l'esigenza di aumentare la durata di corretto funzionamento di un prodotto;
- la necessità di ridurre i pesi senza penalizzare la sicurezza di funzionamento. Ciò richiede una progettazione più accurata, con una più precisa conoscenza della storia di carico, delle proprietà di resistenza dei materiali e dello stato tensionale presente;
- la mutata visione in relazione alla responsabilità civile legata alla produzione e commercializzazione di un prodotto (quale emerge dal dpr n. 224 del 24.5.1988 in attuazione della Direttiva CEE n. 85/374 in materia di responsabilità per danno di prodotti difettosi, e aggiornata con atto modificatore dalla Direttiva CE n. 1999/34 del 4.6.1999. È stata inoltre recepita con il D.Lgs. n. 172 del 21.5.2004 la Direttiva comunitaria 2001/95/CE, poi sostituita dal D.Lgs. n. 206 del 6.10.2005 "*Codice del consumo*").

Un incremento dell'affidabilità di un componente, di una macchina o di un impianto richiede analisi più dettagliate, una progettazione più impegnativa, sperimentazioni più severe ed un programma di manutenzione preventiva accurato (in grado di riportare a livelli elevati l'affidabilità di una macchina in servizio, che vede diminuire l'affidabilità iniziale in misura maggiore o minore a seconda dell'intensità e delle modalità di utilizzo). Ciò provoca evidentemente un aumento dei costi. Per contro, all'aumentare del grado di affidabilità, diminuiranno i costi inerenti ai guasti in servizio, che chiameremo costi di riparazione, tra i quali sono compresi i costi dei ricambi e gli oneri legati alla mancata produttività.

Il costo effettivo del prodotto è la somma dei due costi esaminati: tale somma avrà un minimo a cui corrisponderà in linea di principio un certo valore ottimale di affidabilità R_{ott} (Figura 2.1).

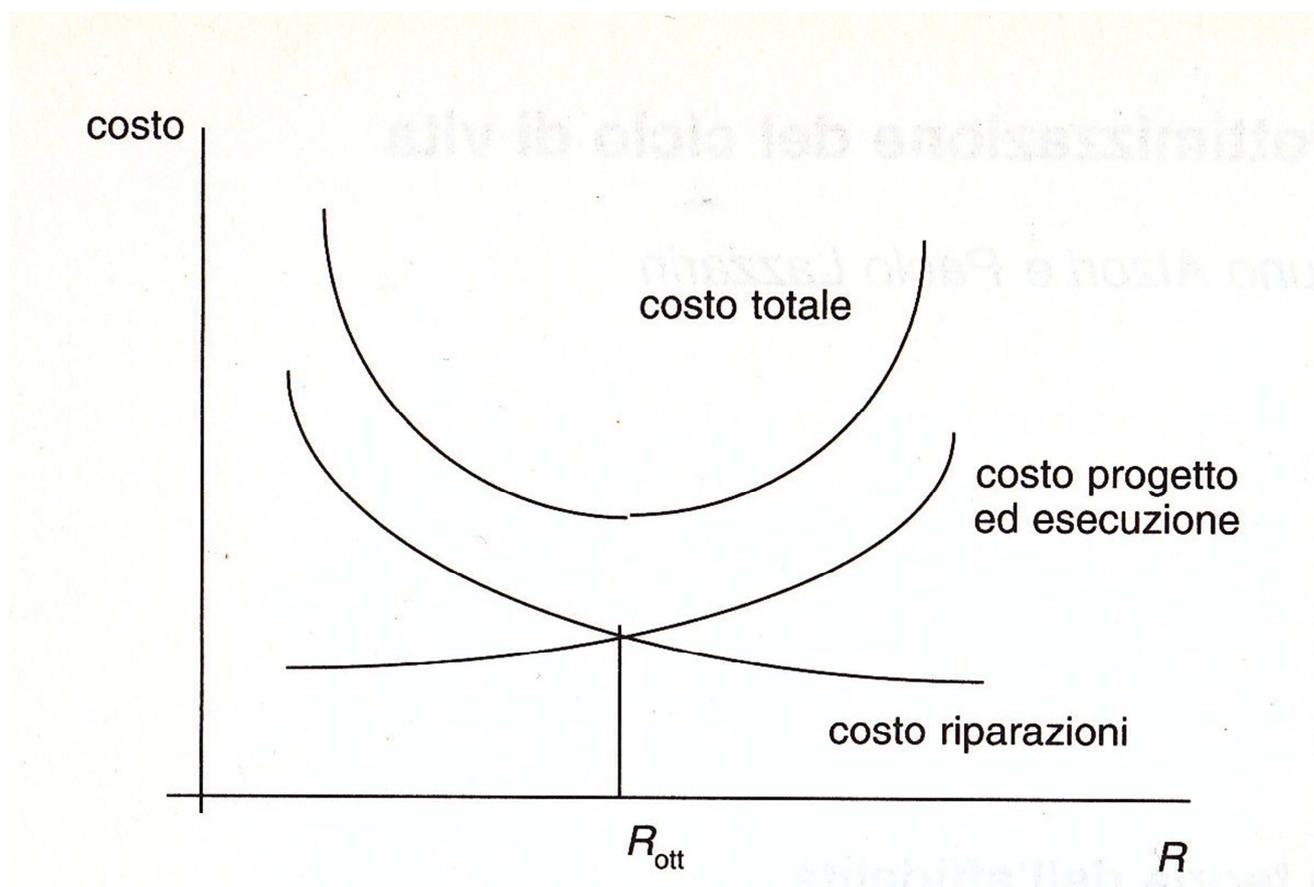


Figura 2.1 Andamento del costo di un componente

Per certi componenti strutturali, il cui cedimento potrebbe comportare danni rilevanti a persone o cose, il criterio guida non è la minimizzazione dei costi, ma bensì la necessità di salvaguardare i livelli di affidabilità, che non possono scendere al di sotto un valore prestabilito e particolarmente elevato.

2.2. Definizione dei parametri affidabilistici

Il presente paragrafo ha come obiettivo quello di introdurre i principali parametri affidabilistici che descrivono e modellano il comportamento al guasto di componenti e sistemi.

2.2.1. L'affidabilità

L'affidabilità $R(t)$ 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 cui opera. Questa definizione presuppone:

- che sia fissato in modo univoco il criterio per giudicare se l'elemento è funzionale;
- che le condizioni ambientali d'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 è funzione dello stato C del componente (cioè se il componente è guasto o meno), delle condizioni ambientali e delle sollecitazioni A cui è soggetto, oltre che del 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:

$$R(t) = \frac{N_v(t)}{N_0}$$

E l'inaffidabilità $F(t)$:

$$F(t) = \frac{N_g(t)}{N_0} = 1 - \frac{N_v(t)}{N_0} = 1 - R(t)$$

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

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}$$

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 $t+dt$.

2.2.2. 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:

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

da cui discende la seguente espressione:

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

e quindi:

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

Ragionando in termini finiti:

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{1}{N_0} \cdot \frac{\Delta N_g}{\Delta t} \\ \lambda(t) &= \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \frac{1}{N_v} \cdot \frac{\Delta N_g}{\Delta t} \end{aligned}$$

Applicazione

Nota l'espressione del rateo di guasto di un componente soggetto ad invecchiamento, si richiede di calcolare il tempo di missione corrispondente ad una affidabilità pari a 0.98.

L'espressione del rateo di guasto è la seguente:

$$\lambda(t) = 5 \cdot 10^{-6} t \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

L'espressione, invece, che lega l'affidabilità al rateo di guasto è:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt} = e^{-\int_0^t 5 \cdot 10^{-6} t \cdot dt} = 0.98$$

Risolviendo l'equazione in t:

$$t_{0.98} = \sqrt{\frac{\ln 0.98}{-2.5 \cdot 10^{-6}}} = 89.89 \approx 90 \text{ h}$$

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 2.2, ove è rappresentata la cosiddetta *bath tube curve* (curva a vasca da bagno).

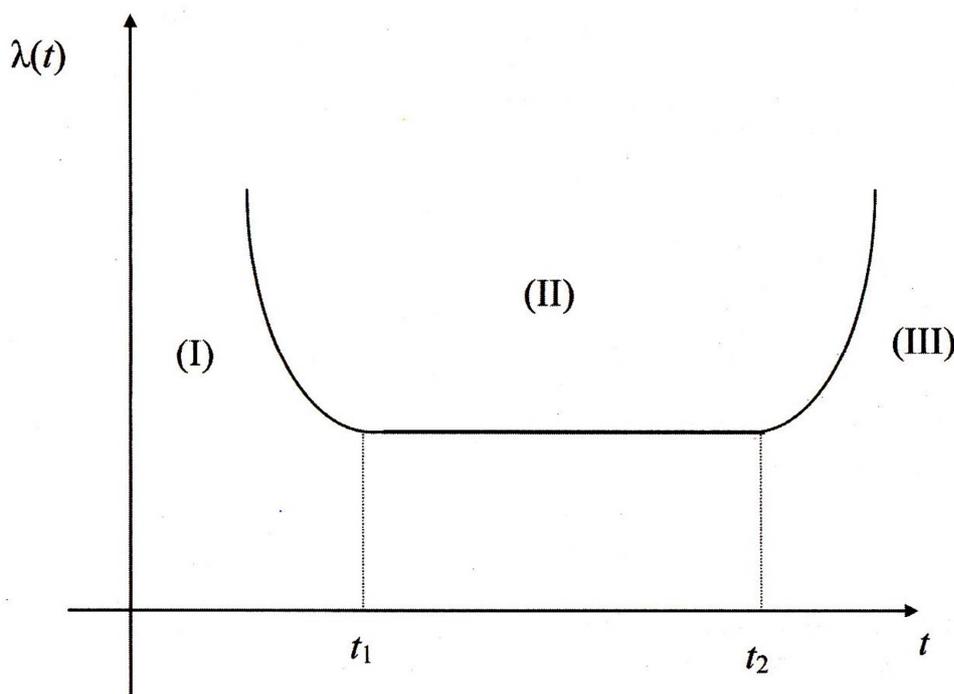


figura 2.2 Diagramma tipico del rateo di guasto

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.).

Nell'ambito della regione (II), dunque, la distribuzione dell'inaffidabilità è di tipo esponenziale con rateo di guasto costante. Quest'ultima condizione può verificarsi anche in presenza di un sistema di componenti, o a rateo di guasto costante, ovviamente, o a rateo di guasto variabile in modo che si possa considerare la variazione del rateo complessivo (in prima analisi dato dalla somma dei ratei dei singoli componenti) circa nulla.

In caso di ratei di guasto variabili, la distribuzione affidabilistica più rappresentativa appare quella di *Weibull*:

$$\frac{dR(t)}{dt} = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad \text{per } t \geq \gamma$$

$$R(t) = 1 \quad \text{per } t < \gamma$$

dove:

γ = vita minima (tempo entro il quale non si verifica il guasto);

η = vita caratteristica (in tale intervallo di tempo si guasta il 63,2% della popolazione);

β = parametro di forma;

Normalmente si assume $\gamma = 0$.

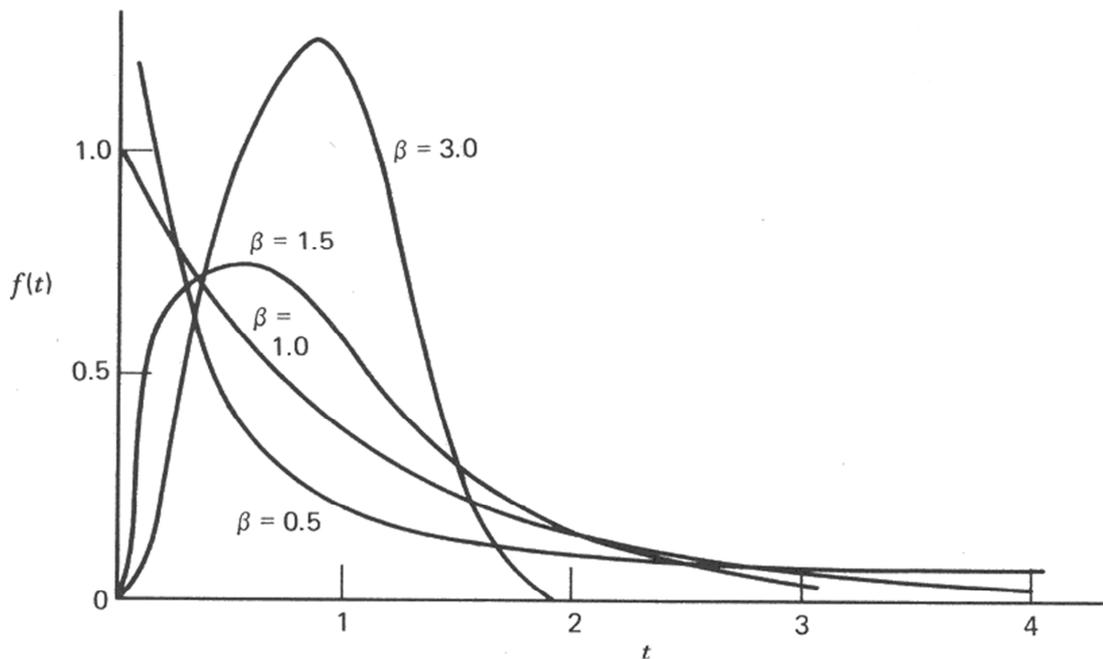


Figura 2.3 Distribuzione di Weibull al variare del parametro di forma β

Nella zona (III), tipica dei componenti meccanici, appare sensato considerare, quale distribuzione della inaffidabilità, la distribuzione normale o gaussiana.

2.2.3. La disponibilità

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.

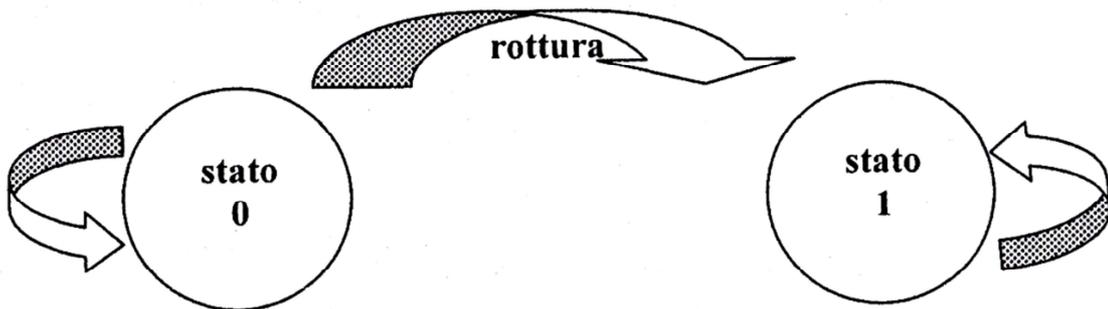


Figura 2.4 Stati e transizioni possibili del componente non riparabile. Riparazione non ammessa

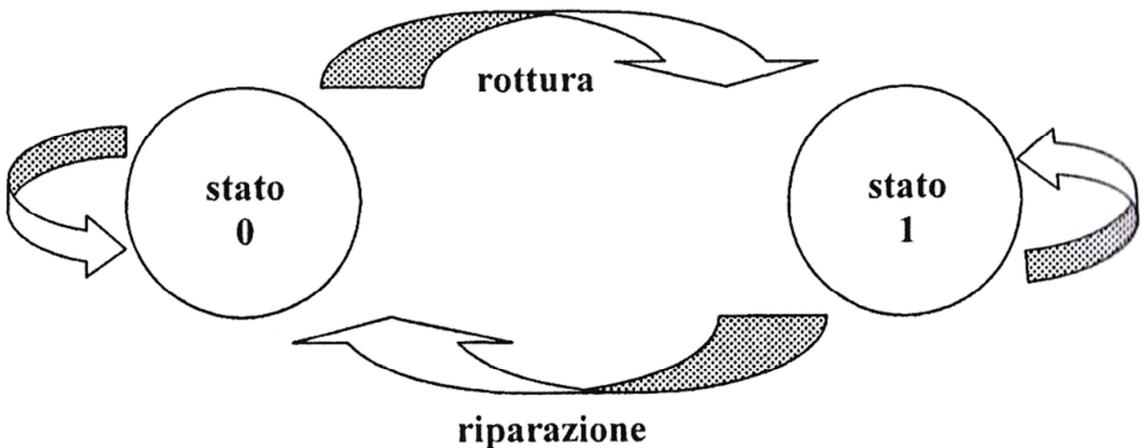


Figura 2.5 Stati e transizioni possibili del componente riparabile. Riparazione ammessa

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.

Applicazione

Si consideri la densità di probabilità dell'inaffidabilità $f(t)$ così definita (espressa in h^{-1}):

$$f(t) = 0.002 \cdot e^{-0.002 t} \quad t \geq 0$$

Da questa funzione si può calcolare l'espressione dell'affidabilità:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt = \int_t^{\infty} 0.002 \cdot e^{-0.002 t} dt = e^{-0.002 t}$$

e quella del *Mean Time To Failure*:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-0.002 t} dt = \frac{|e^{-0.002 t}|^{\infty}}{|-0.002|^0} = \frac{1}{0.002} = 500 h$$

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 2.6).

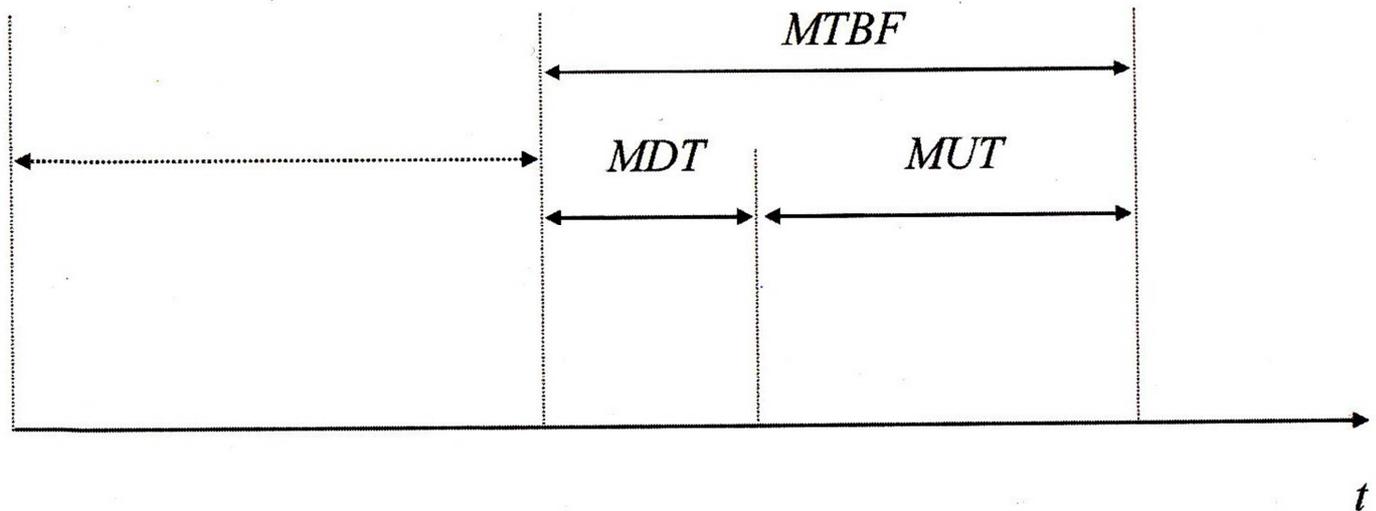


Figura 2.6 Flusso di guasti e riparazioni nei sistemi riparabili

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 2.7:

$$A(t) = 1 \quad \text{all'istante } t = 0$$

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

come si desume dall'espressione seguente:

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

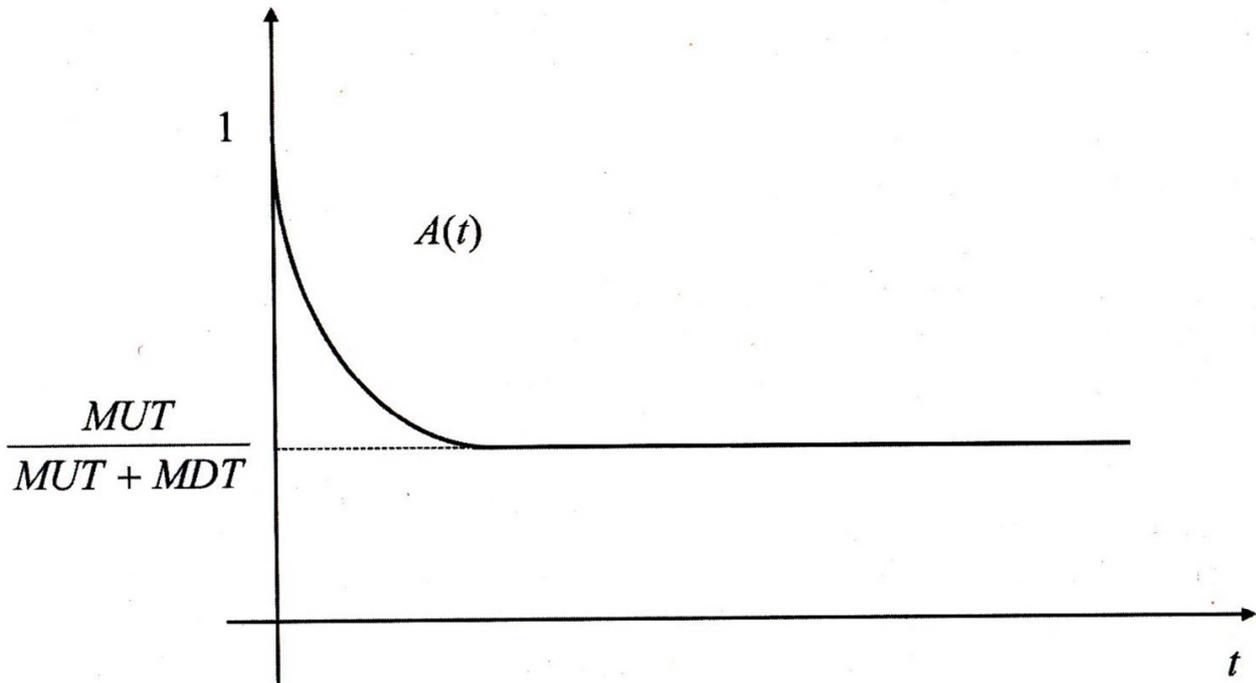


Figura 2.7 Andamento tipico della disponibilità

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

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

2.2.4. La manutenibilità

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:

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

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

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

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

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

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 autoevidenziano e che non si autoevidenziano;
- delle cause comuni di guasto.

I guasti che non si autoevidenziano 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 autoevidenziano, 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 autoevidenzia; 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 2.8). Si può scrivere dunque:

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

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 .

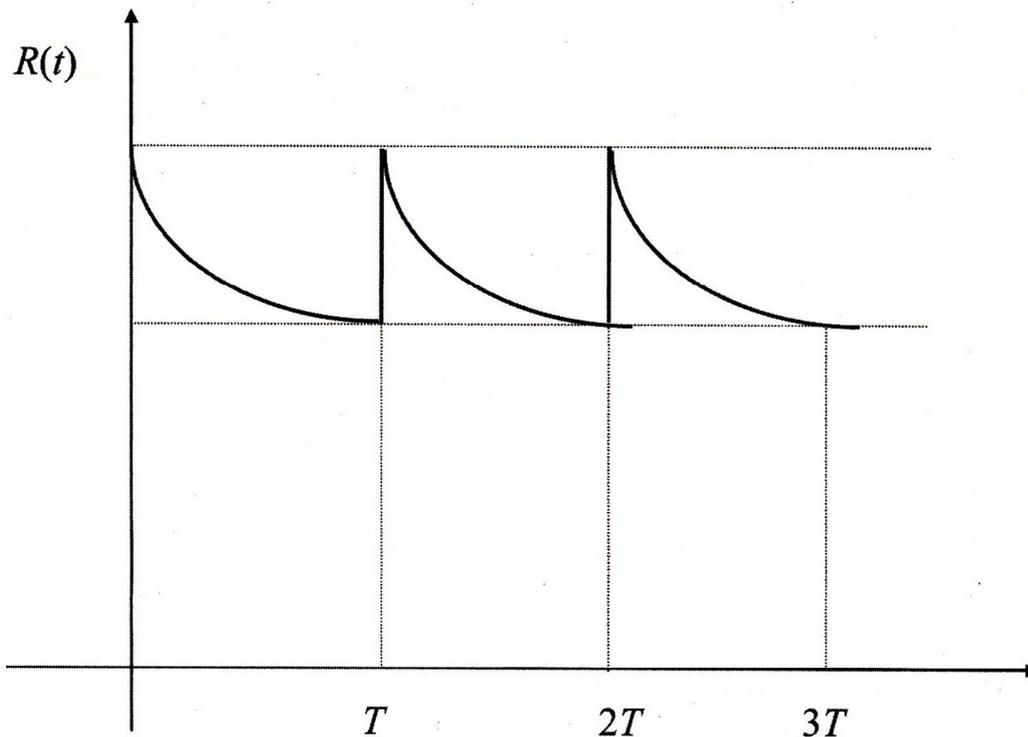


Figura 2.8 Affidabilità di un sistema in manutenzione periodica

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.

3. Affidabilità 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 $\lambda_S = \sum_i \lambda_i$, e

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

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

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

da cui:

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

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:

$$\begin{aligned} R_S(t) &= 2 \cdot e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t} \\ f_S(t) &= 2 \cdot \lambda e^{-\lambda t} - 2 \cdot \lambda e^{-2\lambda t} \\ Z(t) &= \frac{2 \cdot \lambda e^{-\lambda t} - 2 \cdot \lambda e^{-2\lambda t}}{2 \cdot e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}} \end{aligned}$$

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 3.1) ove i quattro componenti sono uguali.

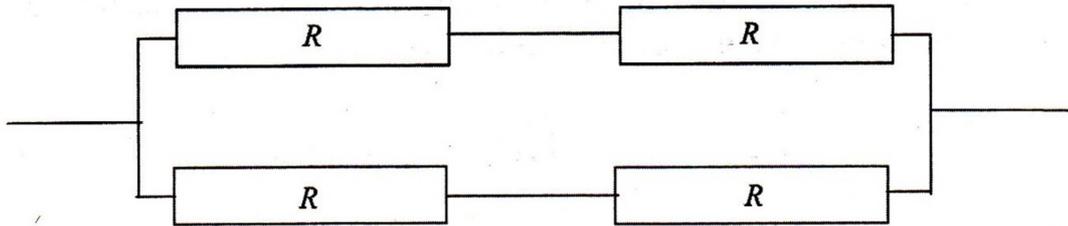


Figura 3.1 Configurazione serie-parallelo

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 3.2.

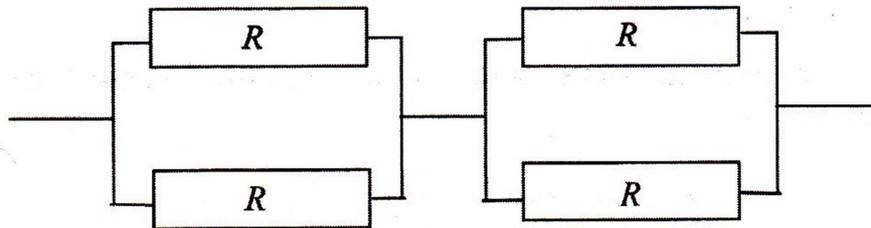


Figura 3.2 Configurazione parallelo-serie

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:

$$\int_0^t R_B(t-x) \cdot f_A(x) dx$$

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

$$R_S(t) = R_A(t) + \int_0^t R_B(t-x) \cdot f_A(x) dx$$

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:

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

Il parametro MTTF, invece, è:

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

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 R_C ; l'affidabilità totale del sistema (sistema + commutatore), dunque, diverrebbe:

$$R_{ST} = R_S \cdot R_C$$

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

4. Politiche e strategie di manutenzione

La manutenzione si occupa di studiare, dal punto di vista progettuale e gestionale, come attuare azioni tecnico-esecutive, operative (o di controllo dell'esecuzione) e manageriali al fine di garantire la disponibilità dei sistemi, l'economicità della conduzione dei sistemi, la loro sicurezza e l'impiego ottimale delle risorse ambientali.

Il raggiungimento di questo articolato obiettivo è reso possibile dall'attuazione di azioni gestionali e conservative che consistono in un complesso di attività tecniche e amministrative rivolte direttamente ad assicurare la continuità dell'esercizio dei sistemi e indirettamente a garantire, appunto, sicurezza, economicità e razionalità nell'impiego delle risorse naturali e ambientali.

4.1. Strategie manutentive

L'attività manutentiva mira ad ottenere una certa continuità del processo produttivo; questo obiettivo, in passato, era perseguito 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.

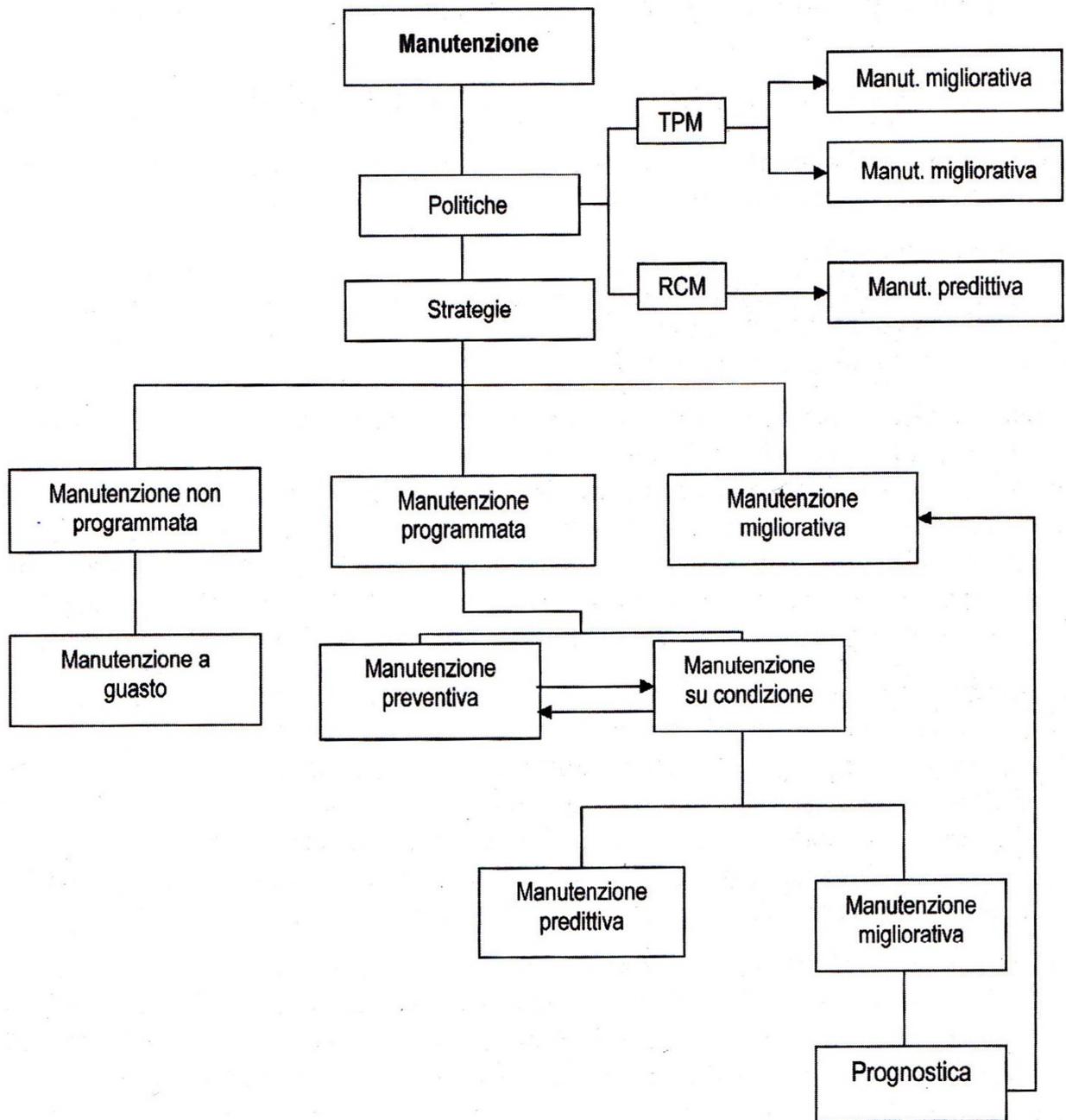


Figura 4.1 Schematizzazione delle politiche e delle strategie di manutenzione

4.1.1. La manutenzione a guasto o correttiva

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

La *manutenzione a guasto* o *Breakdown Maintenance* rappresenta certamente il modo di intervenire più antico, spontaneo e semplice, che vede nella riparazione del guasto l'occasione per la piena affermazione della professionalità dei manutentori. Questa, a sua volta, viene intesa come prontezza della risposta organizzativa, come disponibilità e abilità degli operatori.

Si è già visto come si debba ricorrere a questo tipo di approccio, piuttosto drastico, nel caso di guasto improvviso o catastrofico, cioè in condizioni che una buona attività manutentiva dovrebbe scongiurare a priori. Ci si basa sull'idea secondo cui, in presenza di sistemi non critici e facili da rimpiazzare a basso costo, è conveniente aspettare che il guasto si presenti, prima di intervenire. Può accadere, in effetti, che la riduzione dei tempi di fermata e l'aumento della disponibilità non sia tale da compensare il maggior onere derivante da strategie di intervento più sofisticate.

Si tratta, dunque, di individuare il componente guasto (compito di immediata realizzazione per un manutentore esperto) e prendere tutte le misure atte a ristabilire l'integrità operativa del sistema.

Sfortunatamente questa strategia presenta numerosi aspetti discutibili:

- i fermi macchina si presentano in maniera casuale e spesso nel momento meno opportuno;
- un guasto grave e inaspettato su un componente può avere conseguenze deleterie su altri elementi del sistema, compromettendone la funzionalità con un aggravio consistente dei costi;
- riparazioni non programmate comportano spesso tempi lunghi (per ottenere le parti di ricambio, assegnare il tecnico manutentore adatto, ecc.), ostacolando la produzione e tenendo occupato poco proficuamente il personale tecnico.

4.1.2. La manutenzione preventiva

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

Nell'ambito della manutenzione preventiva rientrano quindi tutti quegli interventi che vengono eseguiti in base alla convinzione che sia determinabile la vita media di qualche componente e che si possa anticipare il guasto di una macchina o di una linea di produzione, predefinendo il momento dell'intervento, in genere di sostituzione, in funzione del tempo vita attesa del componente stesso. Tale concezione ha avuto un grande successo negli anni '60 e '70, perché rispondeva ad un'esigenza assai sentita dai manutentori, ossia dare una base di "scientificità" e di programmabilità al proprio impegno.

Essa indubbiamente ha favorito la crescita culturale e organizzativa della funzione manutenzione, che ha dovuto dotarsi dei primi strumenti di programmazione. Non si tardò, comunque, a constatare come tale pratica generalizzata facesse salire i costi in termini di impiego sia delle risorse umane sia dei materiali tecnici, senza incidere sostanzialmente sulla disponibilità degli impianti.

È un tipo di manutenzione che si trova un gradino più su di quella a guasto, perché in questo caso il sistema meccanico è ancora funzionante ma le sue prestazioni risultano deteriorate fino ad arrivare allo stato di guasto imminente, suggerendo di operare ispezioni, revisioni e attività analoghe, suddivisibili in tre classi:

- normale manutenzione dei sottosistemi operanti correttamente e dei meccanismi che richiedono una certa cura, mediante lubrificazione, pulizia, regolazione, cambi, ecc;
- ricerca dei componenti guasti ridondanti ed eventuale riparazione o sostituzione;
- revisione o sostituzione dei componenti usurati.

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:

- la *manutenzione programmata statica*;
- la *manutenzione programmata dinamica*;
- la *manutenzione su condizione*.

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 (ad esempio se la sostituzione del componente è specificata dal costruttore oppure è in base alle ore di funzionamento).

Nella manutenzione programmata dinamica gli intervalli 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 probabilità 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 della indisponibilità della macchina quando il guasto presenta una certa regolarità di accadimento. Tuttavia, ad un guasto che sia difficile da prevedere, non è conveniente applicare tecniche di manutenzione programmata in quanto si rischia realmente di sostituire un componente la cui vita utile è tutt'altro che terminata.

Nella manutenzione su condizione, invece, si riflette la strategia del “ se funziona non si tocca”, promuove la manutenzione solo quando necessaria ed evita di bloccare capitali ingenti per garantirsi le parti di ricambio occorrenti a coprire tutte le eventualità.

4.1.3. 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.

I benefici ottenibili non sono esclusivamente economici: il successo della *Condition Based Maintenance (CBM)* non solo previene la rottura e la fermata della macchina, ma aiuta anche ad aumentare la sicurezza degli impianti e dei dipendenti, ad assicurare che l'impianto sia efficacemente utilizzato, comportando una serie di altri vantaggi non trascurabili, riassunti nella Tabella 4.1.

Sicurezza	Il tempo di risposta della CBM permette il fermo macchina prima di raggiungere condizioni critiche
Aumento della disponibilità dell'impianto, minori costi di manutenzione	Si possono aumentare gli intervalli tra due successive revisioni. Il downtime può essere ridotto avendo predisposto le risorse
Maggiore efficienza dell'impianto e migliore qualità	Si possono variare le condizioni di funzionamento delle macchine per ottenere un compromesso tra quanto si deve produrre e lo stato della macchina
Migliore possibilità di negoziazione con i fabbricanti	Poiché le condizioni si misurano quando il macchinario è nuovo, alla fine della garanzia e dopo la revisione è possibile avere dei dati di paragone
Migliori relazioni con i clienti	Sapendo in anticipo quando un guasto si presenterà, è possibile organizzare meglio la produzione
Opportunità di progettare meglio impianti futuri	L'esperienza opportunamente raccolta in file storici può servire a questo scopo
Aumento della soddisfazione nel lavoro	Il manager di manutenzione è in grado di pianificare meglio il lavoro del personale al suo servizio

Tabella 4.1 Benefici associati alla CBM

4.1.4. 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 4.2). 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.

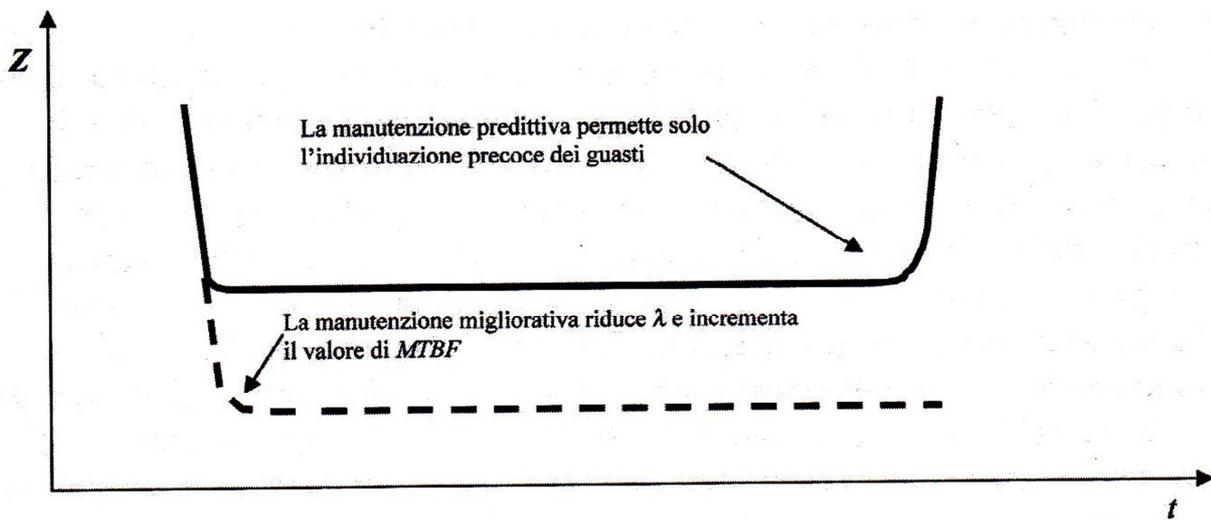


Figura 4.2 Effetto sul rateo di guasto della manutenzione migliorativa

4.2. La manutenzione produttiva (TPM)

4.2.1. Concetti base della Total Productive 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)*.

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).

Sostanzialmente la manutenzione produttiva utilizza le tecniche preventive allo scopo di massimizzare la disponibilità dell'impianto al minimo costo, nel corso di tutta la sua vita utile prevedendo la partecipazione attiva di tutto il personale aziendale.

Uno degli assunti fondamentali di questa strategia manutentiva "globale" è che le cause di inaffidabilità delle macchine sono imputabili a errori nella progettazione e nella gestione dell'impianto. Essa punta pertanto ad eliminare alcune cause di guasto che possono essere riassunte in tre categorie:

- *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.

Come è possibile osservare, si tratta di una metodologia complessa e innovativa le cui linee di azione peculiari sono:

- mantenere l'impianto nelle condizioni ottimali per tutta la sua vita utile attingendo alle risorse già acquisite dalla manutenzione;
- gestire globalmente l'impianto in modo da ottenere quanto descritto al punto precedente;
- proteggere l'impianto contro il deterioramento normale;
- correggere le carenze di progetto;
- prevenire gli errori umani attraverso la formazione e la responsabilizzazione delle maestranze.

La TPM prevede di raggiungere questi obiettivi attraverso:

- introduzione della *manutenzione autonoma*;
- miglioramento delle prestazioni del servizio di manutenzione;
- svolgimento di progetti di miglioramento continuo.

Benché come è possibile intravedere in quanto appena descritto, la TPM coinvolga settori aziendali diversi e si estenda ben oltre alle attività di riparazione del guasto, l'innovazione deriva soprattutto dall'introduzione della *manutenzione autonoma*. La manutenzione autonoma può essere definita come il complesso delle attività di manutenzione e di conduzione svolte dal *personale di produzione*. Affidabilità e disponibilità vanno quindi interpretate non solo come assenza di guasti ma anche come capacità dell'*impianto* (insieme di uomini e macchine) di fornire le prestazioni ottimali.

La manutenzione autonoma ha lo scopo, attraverso la formazione e il coinvolgimento del personale operativo, di realizzare un sistema di gestione globale che consenta:

- il miglioramento delle prestazioni dell'impianto;
- il mantenimento di tali prestazioni a livelli ottimali.

La materia è complessa e ancora allo studio di molti autori. Le problematiche principali nell'applicazione pratica di queste teorie sono ben evidenti se si considera l'entità dello sforzo di coinvolgimento del personale aziendale a tutti i livelli. Il cambiamento delle abitudini consolidate, peraltro già in essere con l'introduzione delle filosofie preventive e predittive, viene in questo caso ulteriormente amplificato allo scopo di creare la massima integrazione possibile delle risorse tecniche e umane proprie di una impresa industriale.

4.2.2. I cinque pilastri 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).

4.2.3. Efficienza totale di impianto (OEE)

L'approccio “totale” della tecnica TPM è dimostrato anche dall'introduzione di un nuovo parametro per il controllo delle prestazioni del sistema di produzione: l'indice di efficienza totale (Overall Equipment Effectiveness – OEE). Questa grandezza supera il concetto della semplice disponibilità delle attrezzature prevedendo il calcolo di parametri relativi alla velocità di funzionamento delle macchine e della qualità del prodotto in uscita dal sistema.

In particolare l'OEE viene calcolato attraverso la seguente formula:

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

dove:

$A(t)$ *Availability*. Disponibilità del tempo t ;

$PE(t)$ *Production Efficiency*. Efficienza delle prestazioni al tempo t ;

$QR(t)$ *Quality Rate*. Tasso di qualità al tempo t ;

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

Disponibilità – $A(t)$

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

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

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

dove:

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

LT tempo di funzionamento;

OT tempo complessivo (di apertura dello stabilimento).

Efficienza delle prestazioni – $PE(t)$

Questo parametro rapporta l’effettiva velocità (cadenza reale) con cui vengono realizzate le singole unità di prodotto con la velocità teorica prevista “a ciclo” (cadenza teorica).

La differenza fra queste due velocità è da imputare a riduzioni di velocità dovute a problemi tecnici dell’impianto e alla presenza delle microfermate (fermate della durata di pochi secondi, spesso non dovute a guasti ma a malfunzionamenti temporanei ed accidentali).

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

In simboli:

$$PE(t) = \frac{N_{pz R}}{N_{pz A}}$$

dove:

$N_{pz R}$ numero di pezzi realmente prodotti nell’intervallo di riferimento;

$N_{pz A}$ numero di pezzi da produrre secondo il tempo teorico di ciclo nell’intervallo di riferimento.

Tasso di qualità – QR(t)

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

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

dove:

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

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

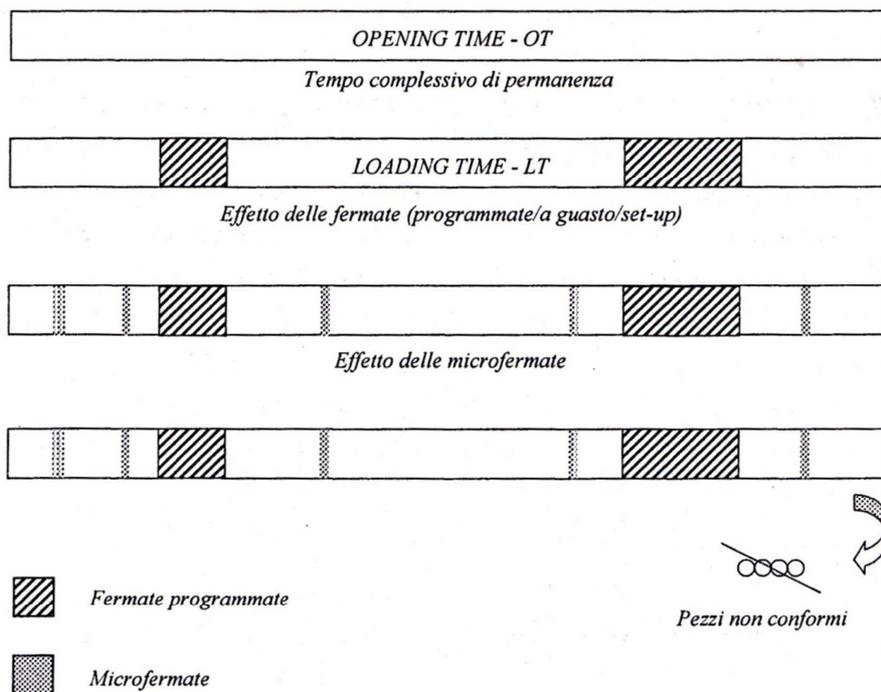


Figura 4.3 Schema di calcolo dell'indice OEE

La letteratura esistente e l'esperienza aziendale stabiliscono un valore "obiettivo" del parametro OEE prossimo ad $0.85 \div 0.88$. Il *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)*, vera autorità nel settore, rilascia annualmente il TPM awards alle aziende che si sono distinte nell'applicazione della *Total Productive Maintenance*; il valore di tipico di OEE raggiunto dalle aziende premiate si attesta attorno a $0.87 \div 0.90$. Per quanto riguarda i singoli termini si possono prendere come riferimento: *Disponibilità A(t)* maggiore di 0.90, *Efficienza delle prestazioni PE(t)* maggiore di 0.95 e *Tasso di qualità dei prodotti QR(t)* sopra 0.99. Il parametro OEE ha il grande vantaggio di tenere in considerazione differenti aspetti in maniera simultanea. Per altro, attraverso i tre distinti fattori di cui si compone, offre la possibilità di interpretare ed analizzare più a fondo eventuali criticità, qualora si calcoli un valore di OEE non soddisfacente può immediatamente seguire l'individuazione della causa fondamentale e quindi una serie di attività mirate alla soluzione del problema.

Applicazione

Si supponga di avere un impianto che lavora su due turni giornalieri da 8 ore ciascuno. L'impianto sia dedicato alla realizzazione di un unico prodotto. Il tempo teorico di lavorazione sia $T_{teorico} = 42 \text{ sec/pz}$.

Nella giornata di analisi, per la quale si vuole calcolare l'indice OEE, dal PLC montato sulla macchina sono stati ricavati i seguenti dati:

Fermi per manutenzione programmata	110 min
Fermi per guasti	15 min
Pezzi effettivamente prodotti	1087 pz
Pezzi prodotti conformi alle specifiche	1064 pz

Quindi:

$$\text{Opening Time} \quad OT = 2 \cdot 8 = 16 \text{ h/giorno} = 960 \text{ min/giorno}$$

$$\text{Tempo di fermata} \quad T_{fermata} = 110 + 15 = 125 \text{ min/giorno}$$

$$\text{Loading Time} \quad LT = OT - T_{fermata} = 960 - 125 = 835 \text{ min/giorno}$$

$$\text{Tempo teorico} \quad T_{teorico} = 42/60 = 0.7 \text{ min/pz}$$

$$A(t) = \frac{LT}{OT} = \frac{OT - T_{fermata}}{OT} = \frac{835}{960} = 0.8698$$

$$PE(t) = \frac{N_{pz R}}{N_{pz A}} = \frac{1087}{\frac{835}{0.7}} = 0.9113$$

$$QR(t) = \frac{P_{sp}}{P_{tot}} = \frac{1064}{1087} = 0.9788$$

In definitiva, per la sola giornata di riferimento, l'indice OEE vale:

$$OEE(t) = A(t) \cdot PE(t) \cdot QR(t) = 0.7758$$

4.2.4. Il processo di implementazione della TPM

In base all'esperienza delle aziende premiate con il TPM awards si può concludere che un processo di implementazione davvero completo di questa tecnica ha un corso che dura dai 20 ai 35 mesi, e impegna quindi il sistema aziendale per un significativo lasso di tempo. All'interno del processo di implementazione si possono individuare tre fasi principali: *la preparazione, la realizzazione e la stabilizzazione dei risultati*. Nella fase di preparazione l'impegno è rivolto alla creazione delle condizioni favorevoli all'introduzione della TPM. Questa fase dura orientativamente da 3 a 8 mesi; è di fondamentale importanza per la buona riuscita finale del progetto e sostanzialmente prevede il coinvolgimento, la formazione e la motivazione delle persone a tutti i livelli aziendali, dai dirigenti agli operatori di macchina.

La fase di realizzazione è il cuore della procedura. In essa dovranno essere progettate, realizzate e implementate le procedure, le soluzioni e le metodologie di ottimizzazione del sistema secondo le prescrizioni tipiche del sistema TPM.

A seguito delle fasi precedenti è assolutamente necessario un periodo di consolidamento nel quale deve venir assicurata la possibilità di automantenimento delle procedure individuate.

L'insieme delle tre macro-fasi può essere ulteriormente suddiviso in attività elementari che, per brevità, sono presentate nella Tabella 4.2. Chiaramente esse devono essere adattate, in parte addirittura eliminate, in relazione alla fattispecie reale in esame.

<i>Fase</i>	<i>Attività</i>	<i>Spiegazione</i>
preparazione	Comunicazione da parte della dirigenza della decisione di introdurre TPM	Organizzazione di assemblee informative e comunicazione sugli organi di informazione interni
	Avviamento di una campagna educativa sulla TPM	Svolgimento di seminari, presentazioni e meeting
	Creazione di un comitato di promozione della TPM	Il comitato dovrebbe avere rappresentanti di tutti i livelli aziendali
	Determinazione degli obiettivi e delle politiche di base	Usualmente si deve anticipatamente condurre una fase di analisi della situazione di partenza
	Formulazione del programma generale di azione	Il piano generale deve comprendere attività in tutte e cinque le direzioni fondamentali TPM
realizzazione	Inizio ufficiale del programma	Usualmente si prevede il coinvolgimento dei fornitori, dei clienti, con manifestazioni pubbliche
	Ricerca del miglioramento dell'efficienza	Vengono strutturati gruppi dedicati finanche in progettazione prodotto
	Introduzione della manutenzione autonoma	Per gradini partendo dalla pulizia
	Sviluppo di un dettagliato piano per la divisione manutenzione	Facendo ampio ricorso ai metodi dell'ingegneria di manutenzione
	Formazione professionale degli addetti alle macchine e dei manutentori per l'accrescimento delle loro competenze	Sfruttando consulenti esterni, soggiorni dai fornitori, ecc.
Sviluppo di piani di gestione iniziale delle macchine per l'avviamento	Appoggiandosi anche all'esperienza dei fornitori degli impianti	
stabilizzazione	Perfezionamento delle procedure e attività TPM	In questa fase si può pensare al confronto con le aziende premiate con il JIPM awards

Tabella 4.2 Suddivisione delle tre macro-fasi del processo di implementazione della TPM

4.3. La scelta della strategia di manutenzione più opportuna

L'attuazione della politica aziendale di manutenzione richiede criteri di progettazione della manutenzione improntati alla logica della minimizzazione del costo globale (costi propri e costi indotti). Tale logica presiede a tutte le azioni della manutenzione durante il ciclo di vita del bene e nel rispetto dei vincoli legislativi per quanto riguarda la sicurezza e il rispetto dell'ambiente.

Per avere un'idea della diffusione che talune strategie manutentive hanno in Italia, va detto che, nonostante la manutenzione a guasto sia ancora diffusa, le aziende di processo e manifatturiere si stanno indirizzando su strategie di manutenzione statistico-opportunistico e su condizione.

Lo schema proposto riassume brevemente le logiche che sono alla base della scelta delle politiche manutentive (Figura 4.3).

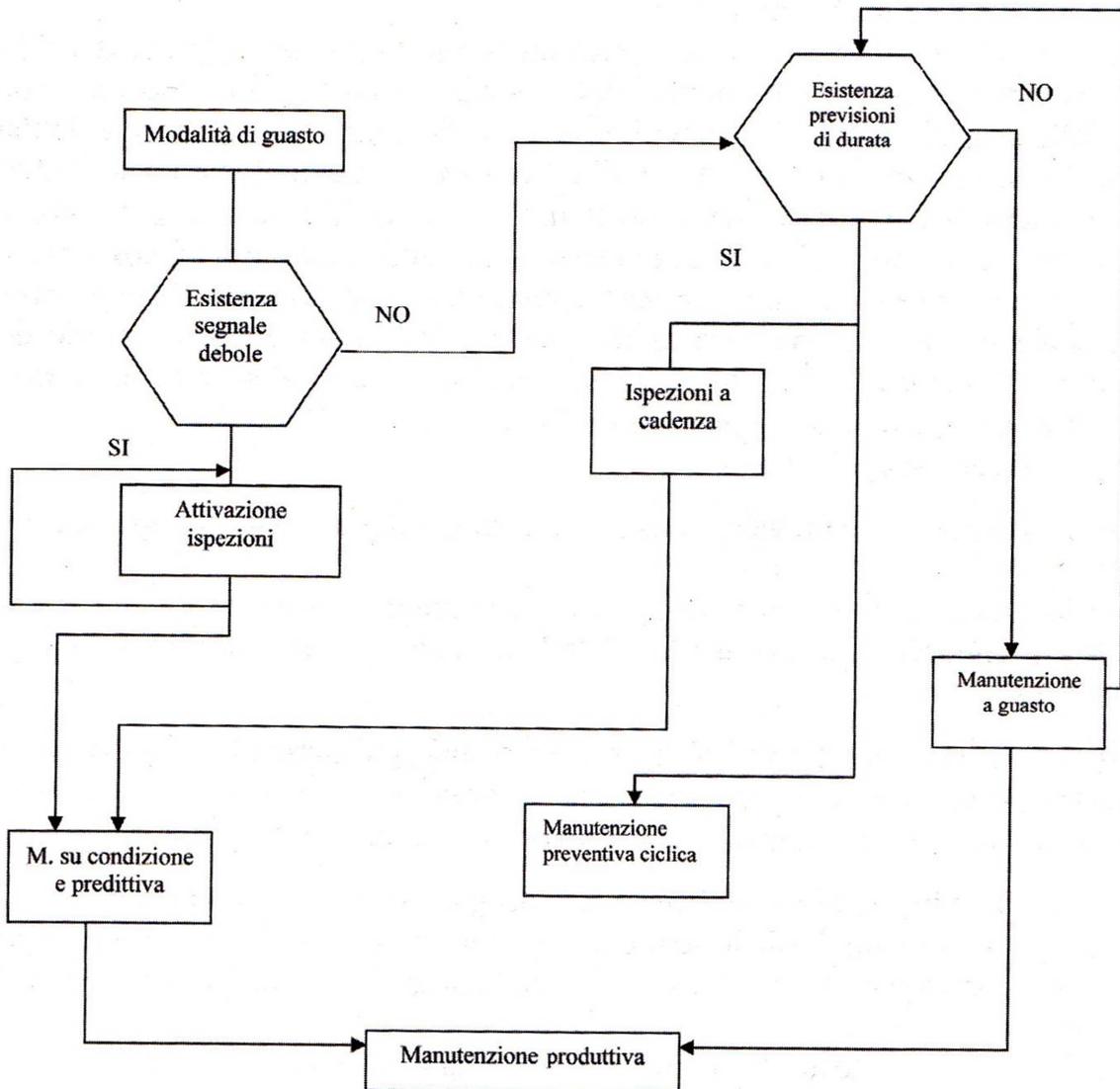


Figura 4.3 Logica per la definizione della strategia manutentiva

Se si esamina il primo blocco, che individua una precisa modalità di guasto su un determinato componente, (a partire da esso) ci si pone la domanda: “Esiste il segnale debole?”, cioè, il progredire del guasto mostra “segnali” in qualche modo percettibili o misurabili? In caso affermativo, verificata la fattibilità del controllo, si attiva il monitoraggio del segnale debole per conoscerne l’andamento temporale ed eseguire l’intervento manutentivo nel momento più opportuno, realizzando la situazione tipica della manutenzione su condizione. Se il segnale debole esiste ma non è monitorabile, ci si pone una diversa domanda: “Esiste una stima della durata del componente?”. In caso affermativo si hanno ancora due possibilità:

- attivare ispezioni programmate e strumentate in funzione della ispezionabilità del componente, ritornando alla manutenzione su condizione;
- eseguire sostituzioni a tempi prefissati, realizzando la manutenzione preventiva ciclica.

Infine, quando non esiste segnale monitorabile e non si hanno stime sulla vita del componente, non rimane che attivare la manutenzione a guasto. In relazione al comportamento del sistema, esiste un mix ottimale di queste politiche che costituiscono la base della manutenzione produttiva.

La scelta delle diverse strategie manutentive è determinata dal grado di criticità che il bene riveste nel ciclo produttivo dell’azienda e anche dalla valutazione economica delle possibili scelte, fatti salvi i principi di sicurezza delle persone e dell’ambiente. In questo senso, risulta molto importante l’utilizzo di metodologie come l’Analisi Costi-Efficacia (ACE) o l’Analisi Costi-Benefici (ACB). Tali metodi presumono la valutazione del *Costo Globale di Manutenzione*, il quale esprime sia il costo che l’azienda deve sostenere per effettuare una certa politica manutentiva (*costo proprio di manutenzione*) sia tutta una serie di *costi indotti dal guasto*. Il costo proprio della semplice manutenzione a guasto è espresso da:

- manodopera;
- materiali e ricambi;
- attrezzature;
- costi generali di struttura.

A questi costi si aggiungono:

- per la manutenzione preventiva ciclica, i costi di preparazione e programmazione lavori;
- per la manutenzione su condizione, i costi di preparazione e programmazione, i costi di controlli e ispezioni e quelli relativi agli strumenti per il monitoraggio del bene.

I costi indotti dal tipo di politica di intervento sono gli immobilizzi dei ricambi in magazzino (giacenza valorizzata per tasso di possesso) che sono tanto più elevati quanto minore è la programmazione dei lavori. I costi indotti dal guasto sono:

- il costo di indisponibilità del bene e la conseguente mancata produzione;
- il costo di immobilizzo delle scorte di prodotto finito o produzione non a specifica, per fronteggiare la variabilità della produzione dovuta al basso grado di affidabilità degli impianti;
- il costo conseguente al disservizio causato dalla mancata erogazione del servizio.

A scanso di equivoci, va detto che in ogni realtà industriale convivono, in genere, varie strategie di manutenzione, ognuna delle quali integra le altre, senza annullarle, assorbendo una quota percentuale delle risorse disponibili: è possibile, cioè, applicare un mix di strategie manutentive che, nel suo insieme, costituisce la politica aziendale. La scelta va fatta in base alla criticità dei componenti, a una valutazione economica delle alternative e alle eventuali raccomandazioni del fornitore.

È possibile, quindi, delineare uno schema più completo del precedente, che tenga conto delle considerazioni sopra riportate, come modello di logica decisionale per una corretta selezione della politica manutentiva aziendale (Figura 4.4)

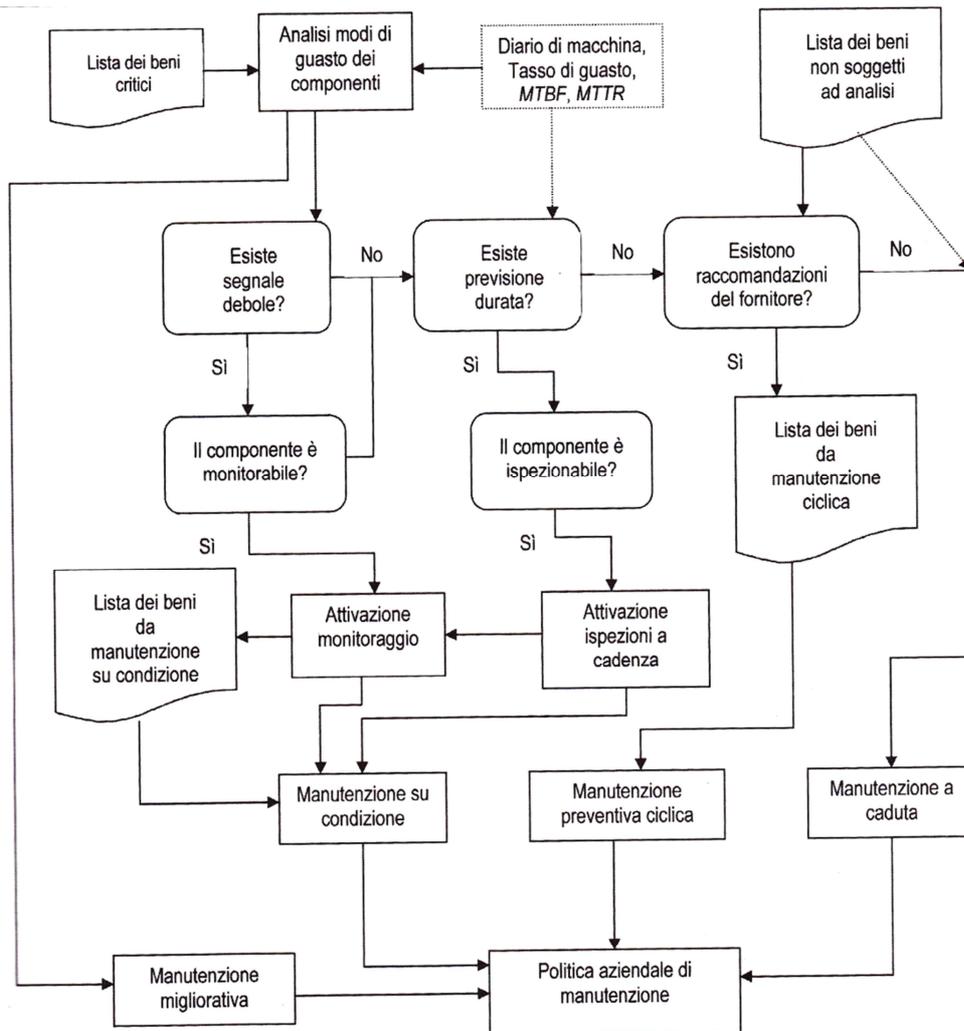


Figura 4.4 Diagramma di flusso per la definizione della politica aziendale di manutenzione [UNI 10366]

Un ruolo importante nella definizione della strategia manutentiva, inoltre, è giocato dal tipo di guasti che si possono verificare. Se è vero che i guasti sono sempre dannosi, non bisogna, però, credere che abbiano tutti le stesse conseguenze: un guasto, per definizione, è l'impossibilità per un materiale, struttura o sistema di svolgere il proprio compito in modo sicuro e ordinato, ma esistono diverse modalità per caratterizzare una tale situazione. Una classificazione dei guasti è riportata nella Tabella 4.2.

Tipo di guasto	Descrizione
Guasto catastrofico	Una condizione di repentina e completa cessazione delle operazioni e un totale deterioramento delle funzioni
Guasto improvviso	Una condizione di degrado accelerato sia del materiale sia delle prestazioni, che si traduce in un parziale indebolimento delle funzioni
Guasto imminente	Una condizione di percettibile degrado del materiale in presenza di un serio deterioramento delle prestazioni
Guasto incipiente	Una condizione nella quale l'utilizzo di opportuni mezzi di investigazione permette di individuare i primi segni di degrado del materiale, senza che l'utente avverta alcuna modifica nella performance della macchina
Guasto condizionale	Una condizione di pre-allerta in cui non si è ancora verificato un degrado né del materiale né della prestazione, ma tale che, se la situazione persiste, si arriverà inevitabilmente ad un guasto funzionale

Tabella 4.2 Classificazione dei guasti

Le “cause prime di guasto” si presentano quando esistono condizioni anomale che producono una situazione di instabilità del sistema. Nel caso di sistemi meccanici a fluido, per esempio, è possibile individuarne alcune, tipicamente le seguenti:

- eccessiva contaminazione del fluido lubrificante;
- fuoriuscita di fluido;
- instabilità chimica del fluido;
- instabilità fisica del fluido;
- cavitazione;
- instabilità della temperatura del fluido;
- condizioni severe di usura;
- deformazione o frattura del materiale.

Se si parte dal presupposto che il produttore ha progettato e costruito il sistema correttamente, un “guasto condizionale” dipenderà totalmente dal verificarsi di una o più di queste cause prime. È in corrispondenza di questo livello di guasto che, in mancanza di sintomi identificabili di degrado della prestazione o del materiale, l’utente potrà soltanto individuare e correggere le cause prime di guasto mediante la *Proactive Maintenance* (manutenzione migliorativa).

Quando ha luogo un guasto incipiente, vuol dire che la performance del sistema risulta corretta, ma si è già in presenza di un certo degrado del materiale che è riscontrabile con un monitoraggio dei detriti da usura, delle vibrazioni o del rumore. Si tratta, allora, di operare quella che viene detta manutenzione predittiva. Se poi inizia ad essere riconoscibile un certo indebolimento nelle prestazioni del sistema, si parla di condizioni di guasto imminente, dovuto al fatto che l’utente non è intervenuto per tempo a correggere le condizioni irregolari frutto delle cause prime suddette. A questo punto all’operatore non resta altro da fare che programmare una manutenzione preventiva che miri ad evitare la rottura improvvisa e il fermo del sistema.

Ignorando tutti questi segnali del degrado del sistema, si giunge inevitabilmente alla fase di guasto improvviso, quando, cioè, il deterioramento del materiale assume proporzioni tali indebolire seriamente alcune funzioni del sistema stesso che deve essere subito revisionato e i componenti danneggiati sostituiti. In questo senso si parla di una forma di manutenzione “reattiva” nei confronti di un’avarìa già presente, cioè di *Breakdown Maintenance* (manutenzione a guasto).

Rimane infine da analizzare il guasto catastrofico, cioè quella condizione in cui la normale operatività del sistema cessa o diventa talmente problematica da renderne difficoltoso il controllo da parte dell’operatore. In questo caso si è costretti a rimuovere gli elementi guasti, ripararli e sostituirli secondo la strategia delle quattro R (*Remove, Repair, Rebuild and/or Replace*) che per molto tempo ha costituito l’unico approccio all’attività manutentiva.

4.4. Conclusioni

La scelta della politica manutentiva dipende generalmente da tutti i fattori che caratterizzano la gestione di un sistema di macchine.

La situazione per cui un impianto rimanga indenne da guasti nel corso di tutta la sua vita utile 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 il management verso l'adozione di politiche e 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 capitoli precedenti, una netta distinzione o un limite di competenza se non definiti dalle effettive esigenze d'impianto. Preventiva e predittiva sono tra loro sostanzialmente complementari sotto molti 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 una 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, anche gravi, che si manifesta inevitabilmente.

La TPM inoltre, 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 e apprezzarne le caratteristiche di efficienza.

5. Normativa

Le normative *ISO EN UNI* 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.

6. 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.