

GENERALITÀ SUL SERVIZIO MANUTENZIONE

Introduzione

Per **MANUTENZIONE** si intende il *controllo costante* degli impianti e l'insieme dei lavori (di riparazione e revisione) che sono necessari per assicurare il *funzionamento regolare* (svolgimento corretto delle funzioni richieste sia in termini quantitativi sia in termini qualitativi) ed il *buono stato di conservazione* degli impianti produttivi, dei servizi e delle attrezzature di stabilimento (più in generale, dei beni utilizzati come strumento di lavoro).

Il concetto di manutenzione ha subito un'evoluzione nel corso degli anni... (anni '40 – '50) riparazione dei guasti ⇒ (anni '50 – '60) funzione preventiva ⇒ (anni '60 – '70) "controllo" al fine di ritardare quanto più possibile l'intervento di manutenzione preventiva ⇒ (anni '70 – '80) partecipazione alla fase di progettazione, realizzazione (esecuzione + montaggio) ed esercizio al fine minimizzare il *costo del sistema* nell'arco della sua vita (⇒ componenti facilmente ispezionabili e monitorabili e di uguale vita utile).

La manutenzione è fondamentale sia perché è indispensabile assicurare la disponibilità delle attrezzature che, sottomesse ad una serie di sollecitazioni dovute alla loro utilizzazione o all'aggressione dell'ambiente esterno, sono soggette a guasti sia perché da essa dipende la sicurezza delle persone.

Una corretta gestione della manutenzione consente di accrescere la competitività dell'impresa con una riduzione dei costi diretti di manutenzione ma soprattutto dei costi indiretti, la cui voce fondamentale è rappresentata dalla *mancata produzione*.

Attualmente si possono distinguere due tipologie di manutenzione:

- **MANUTENZIONE CORRETTIVA** o **A GUASTO**, eseguita allo scopo di riparare i guasti (si effettua quindi dopo il verificarsi del guasto);
- **MANUTENZIONE PREVENTIVA**, eseguita allo scopo di prevenire i guasti, che si divide a sua volta in:
 - **MANUTENZIONE SISTEMATICA**;
 - **MANUTENZIONE SECONDO CONDIZIONE**.

La manutenzione correttiva

Possiamo distinguere due tipi di azioni:

- la **RIMESSA IN MARCIA**, eseguita su un bene guasto per rimmetterlo in grado di funzionare almeno provvisoriamente per motivi di produzione o di sicurezza;
- la **RIPARAZIONE**, eseguita su un bene guasto al fine di ripristinarlo in maniera durevole.

Il costo di guasto di un'attrezzatura è somma del costo di manutenzione correttiva (necessaria per la sua rimessa in condizione di funzionamento) e del costo delle conseguenze dell'indisponibilità dell'attrezzatura (perdite di produzione).

La manutenzione sistematica

Per **MANUTENZIONE SISTEMATICA** si intende una manutenzione preventiva periodica, effettuata ad intervalli predeterminati (in base a cicli di utilizzo predeterminati), allo scopo di ridurre la probabilità di guasto di un bene o il degrado del servizio.

Un'attività fondamentale della manutenzione sistematica è l'attività di *lubrificazione* degli elementi meccanici allo scopo di evitarne o ritardarne l'usura e ridurre le perdite di energia.

Una manutenzione sistematica permette di evitare grossi deterioramenti dei vari componenti di un'attrezzatura e allo stesso tempo accresce la sicurezza degli impianti e delle persone.

La manutenzione secondo condizione

Per **MANUTENZIONE SECONDO CONDIZIONE** si intende una manutenzione preventiva subordinata ad un certo avvenimento predeterminato; questo tipo di manutenzione si è sviluppato in seguito alla constatazione che lo smontaggio e rimontaggio di alcune attrezzature, nel corso di viste sistematiche, provocano un ulteriore rischio di guasto, oltre a maggiori costi (in termini di risorse umane, materiali tecnici, ...).

L'obiettivo principale della manutenzione secondo condizione è quindi quello di evitare interventi inutili (tipici della manutenzione sistematica) ma anche quello di evitare interventi di urgenza (tipici della manutenzione correttiva); tale metodologia è imperniata sull'idea che il guasto di un sistema complesso (macchina o impianto) costituisce il punto terminale di un percorso di vita segnato da un degrado progressivo, quantificabile il più delle volte attraverso la misurazione strumentale dei segnali deboli emessi e la interpretazione del trend di degrado: se esiste un legame funzionale di tipo deterministico tra il valore di un segnale e la vita residua del componente emettitore del segnale stesso, è possibile valutare il tempo residuo prima del guasto e quindi stabilire la data dell'intervento (**MANUTENZIONE PREDITTIVA**) mentre se non è noto (o non esiste) un legame quantitativo tra valore di un segnale e la vita residua, si assume come riferimento per avviare l'intervento una indicazione di soglia (manutenzione secondo condizione).

La manutenzione secondo condizione impone sulle attrezzature controlli e diagnosi lungo l'intero arco della loro vita; la misurazione dei segnali emessi dall'attrezzatura (intesi come sintomi di avaria) possono essere rilevati attraverso i sensi degli operatori delle attrezzature o attraverso mezzi di controllo quali trasduttori di vibrazione (nel caso di macchine rotanti), misurazione delle

radiazioni termiche emesse dalla superficie dell'oggetto in esame, analisi chimico/fisiche dell'olio lubrificante.

Naturalmente, ad eccezione dei casi in cui è in gioco la sicurezza delle persone, il costo della manutenzione secondo condizione deve essere inferiore al risparmio che essa permette di realizzare.

Il concetto di costo globale

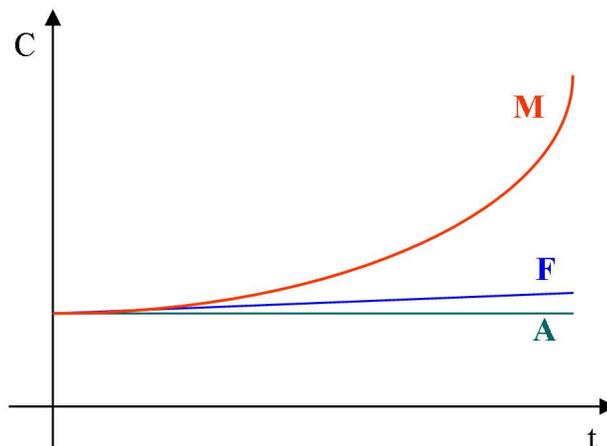
L'evoluzione del concetto di manutenzione ha portato alla presa in considerazione dell'affidabilità e della manutenibilità nella fasi di progettazione e di scelta delle nuove attrezzature.

Il **COSTO GLOBALE** di acquisto ed utilizzazione di un'attrezzatura comprende:

- il **costo dell'attrezzatura**, A, incluso l'eventuale costo dei capitali investiti, costante nel tempo;
- il **costo cumulato d'utilizzazione**, F, che varia linearmente nel tempo;
- i **costi diretti cumulati di manutenzione**, M, che variano con legge quadratica nel tempo.

$$C = A + F + M$$

Il costo globale permette di comparare a titolo previsionale, per un'attrezzatura data, più politiche di manutenzione; esso permette inoltre di stimare l'età ottimale di sostituzione delle attrezzature e di determinare il *budget* massimo ammissibile per la manutenzione delle principali attrezzature (*Quando la manutenzione di un bene non è più conveniente? Quando i costi di manutenzione superano il valore residuo del bene!*)



Affidabilità e manutenibilità

L'**AFFIDABILITÀ** può essere definita come l'attitudine di un dispositivo a svolgere una funzione richiesta secondo le condizioni di utilizzazione e per un periodo di tempo definito: se diciamo $f(t)$ la **densità di probabilità di guasto** (probabilità di guasto per unità di tempo) ovvero la funzione tale che la probabilità infinitesima che l'elemento si rompa al tempo t o in un suo intorno infinitesimo dt

sia pari ad $f(t)dt$, allora l'affidabilità, intesa come la **probabilità di sopravvivenza al tempo t**, è

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt .$$

La probabilità che l'elemento funzionante all'istante iniziale si guasti al più all'istante t è

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \text{ (INAFFIDABILITÀ)}; \text{ si ha ovviamente } \int_0^{\infty} f(t)dt = 1 \text{ e quindi } R(t) = 1 - F(t) .$$

Il **TASSO DI GUASTO**¹ è la funzione $\lambda(t)$ tale che la probabilità infinitesima che il componente si rompa al tempo t o in un suo intorno infinitesimo dt sia pari a $\lambda(t)dt$, **nell'ipotesi che in t sia ancora funzionante**:

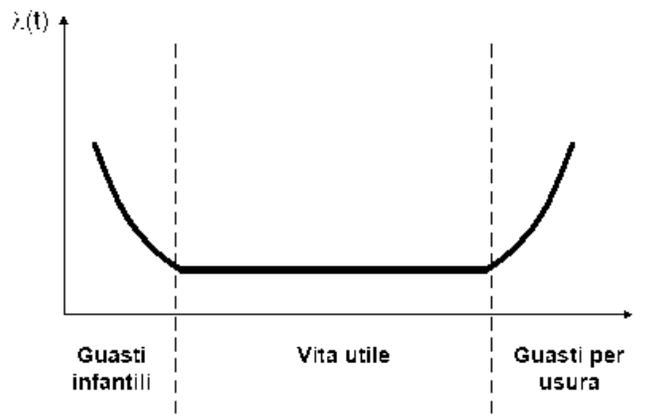
$$\lambda(t) = \lim_{dt \rightarrow 0} \frac{P(t < t < t + dt | t > t)}{dt}$$

Sfruttando il Teorema di Bayes è possibile dimostrare che $\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$.

In altri termini, il tasso di guasto è definito come la **probabilità di guasto dei dispositivi rimasti in buono stato al tempo t**; l'inverso del tasso di guasto rappresenta l'**MTBF (Mean Time Between Failure)** cioè il **tempo medio tra due guasti successivi** (se $\lambda(t)$ è costante).

* * * * *

La conoscenza del tasso di guasto è utile perché con esso è possibile tracciare la curva dei guasti per un dato componente in funzione del tempo; in particolare, nel caso di un componente elettromeccanico, si hanno tre periodi caratteristici della vita operativa del componente (*bath tube curve*... curva a vasca da bagno):



¹ Per componenti riparabili... nel caso di componenti non riparabili si parla di **DENSITÀ DI RISCHIO DI GUASTO!**

L'infanzia, o periodo di rodaggio, caratterizzato da guasti dovuti ad errori di progetto o a difetti di fabbricazione o ad inesperienza dell'operatore; la maturità, o periodo di vita utile, caratterizzato da guasti del tutto casuali o da errori operativi; la vecchiaia, caratterizzata da guasti per degradazione dovuti all'usura ed alla fatica (in tale periodo si effettua la manutenzione preventiva).

La legge di affidabilità che normalmente viene utilizzata per dispositivi elettromeccanici è quella di **Weibull**:

$$R(t) = e^{-\frac{(t-\gamma)^\beta}{\alpha}}$$

dove t è il tempo di utilizzazione, α è un parametro di scala (vita caratteristica), β è un parametro di forma e γ è un parametro di posizione o correzione dell'origine dei tempi.

Se poniamo $x = \frac{(t-\gamma)}{\alpha}$, si ha $R(x) = e^{-x^\beta}$, $F(x) = 1 - e^{-x^\beta}$ e $f(x) = \frac{dF}{dx} = \beta x^{(\beta-1)} e^{-x^\beta}$; quindi:

$$\lambda(t) = \frac{\beta x^{(\beta-1)} e^{-x^\beta}}{e^{-x^\beta}} = \beta x^{(\beta-1)}$$

- $\lambda(t)$ aumenta con il tempo per $\beta > 1$: linearmente per $\beta = 2$, con legge quadratica per $\beta = 3$;
- $\lambda(t)$ resta costante nel tempo per $\beta = 1$;
- $\lambda(t)$ decresce con il tempo per $\beta < 1$.

* * * * *

La **MANUTENIBILITÀ** è l'**attitudine (la probabilità) di una data attrezzatura ad essere mantenuta** o ad essere riportata – in un prefissato periodo di tempo – in uno stato nel quale può svolgere la funzione richiesta; l'indicatore essenziale di manutenibilità è l'**MTTR (Mean Time To Repair)** cioè il **tempo medio necessario al ripristino della piena funzionalità dell'attrezzatura** (tempo di identificazione + tempo di montaggio + tempo di riparazione/sostituzione + tempo di rimontaggio e controllo).

* * * * *

Un **SISTEMA** è un insieme di elementi o componenti caratterizzati da particolari condizioni funzionali ed affidabilistiche, ciascuno dei quali contribuisce a realizzare il funzionamento del sistema complessivo con un certo livello di affidabilità; i sistemi possono essere classificati in due grandi categorie:

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

L'affidabilità di un sistema non ridondante è pari al prodotto delle affidabilità dei singoli componenti $R_s(t) = \prod_i R_i(t)$ e quindi può essere incrementata agendo sul componente meno affidabile.

I sistemi ridondanti 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** (o sistemi *stand by*) caratterizzati dal fatto che durante il funzionamento alcuni componenti rimangono in *stand by* ed entrano in funzione – grazie ad un opportuno commutatore – solo in caso di guasto.

Si dimostra che l'inaffidabilità di un sistema parallelo è pari al prodotto delle inaffidabilità dei componenti.

La manutenzione produttiva ed il metodo TPM

Per **MANUTENZIONE PRODUTTIVA** si intende l'insieme delle azioni volte alla prevenzione, al miglioramento continuo ed al trasferimento di funzioni elementari di manutenzione al conduttore dell'entità, avvalendosi del rilevamento di dati e della diagnostica sull'entità da mantenere.

I punti principali della manutenzione produttiva sono quindi:

- *prevenzione mediante il monitoraggio dei segnali deboli;*
- *miglioramento continuo;*
- *manutenzione autonoma* (ovvero svolta in prevalenza dagli stessi uomini della produzione);
- *attività di piccoli gruppi interfunzionali.*

Gli impatti sul piano organizzativo dell'adesione a tale metodologia manutentiva sono notevoli; in particolare, si ha il **superamento delle logiche settoriali delle funzioni aziendali** attraverso il coinvolgimento dei conduttori e l'attivazione continua dei piccoli gruppi interfunzionali.

La manutenzione produttiva rappresenta il punto più avanzato dello sviluppo della manutenzione e nasce dalla concettualizzazione di esperienze maturate in Giappone, quelle che hanno dato forma alla metodologia **TPM** (*Total Productive Maintenance*).

Il TPM mira a garantire agli impianti ed alle macchine la massima affidabilità (... è contemplato l'utilizzo operativo delle curve di Weibull!!!) e la massima efficienza allargando la manutenzione produttiva alla totalità del personale dell'impresa: il TPM risponde al principio che la manutenzione per essere efficace deve avvenire continuamente e tempestivamente.

In particolare, il coinvolgimento di tutto il personale può avvenire solo attraverso l'addestramento di tutti gli operatori alla manutenzione degli impianti/macchinari e quindi attraverso il miglioramento delle competenze tecnico/gestionali degli operatori.

Il TPM si propone inoltre di ridurre i ritardi di messa in opera delle nuove attrezzature al fine di ottimizzare il costo globale d'acquisto e utilizzazione, attraverso la progettazione di attrezzature di produzione semplici e funzionali, mirate ai compiti previsti.

* * * * *

Numerosi sono i legami tra il TPM ed il *Just In Time*²; tali legami sono evidenti nella valutazione delle cosiddette "sei grandi perdite":

1. fermate causate da guasti (rotture improvvise ed impreviste) ⇒ più di 10 minuti di fermata per ciascun impianto al massimo una volta al mese;
2. tempi di setup e di aggiustaggio ⇒ al massimo 10 minuti;
3. tempi non utilizzati e piccole fermate ⇒ al massimo 10 minuti ed al massimo 3 volte al mese;
4. velocità (macchina/impianto) inferiore a quella prevista ;
5. perdite per scarti e/o rilavorazioni ⇒ la difettosità percentuale per ciascun processo deve essere inferiore allo 0.1%;
6. perdite di produzione all'avviamento (ad esempio per la messa a punto del prodotto) ⇒ la resa all'avviamento deve consentire il 99% o più della dimensione del lotto.

L'individuazione di queste e la loro successiva riduzione consente di aumentare l'efficienza globale degli impianti; le sei grandi perdite non devono superare come incidenza totale il 15% del tempo "installato" ovvero di disponibilità totale teorica dell'impianto.

Il miglioramento della disponibilità degli impianti

Si definisce **DISPONIBILITÀ** l'attitudine di un bene a svolgere le proprie funzioni in un dato istante (*disponibilità istantanea*... quando si fa tendere l'istante considerato all'infinito si parla di *disponibilità asintotica*) o **intervallo di tempo** (*disponibilità media*... media delle disponibilità istantanee in un dato intervallo di tempo), per effetto della combinazione della sua affidabilità, manutenibilità e della logistica della manutenzione. Più precisamente, si parla di:

- *disponibilità del sistema*,
- *disponibilità di servizio*, ovvero attitudine ad assicurare un servizio (entro i limiti delle specifiche stabilite dall'utilizzatore), per effetto della combinazione delle prestazioni necessarie e della disponibilità del sistema realizzato per fornire tali prestazioni.

² Il *Just In Time* (JIT) è un insieme di metodologie tese a migliorare il processo produttivo cercando di alleggerire al massimo le scorte di materie prime e di semilavorati necessari alla produzione; si tratta di coordinare i tempi di effettiva necessità dei materiali sulla linea produttiva (quando devono essere utilizzati) con la loro acquisizione e disponibilità nel segmento del ciclo produttivo. In tal modo si riducono i costi di giacenza, gestione, carico e scarico di magazzino (col tempo tali concetti sono stati applicati oltre che alle materie in entrata anche ai prodotti in uscita).

È possibile definire i seguenti parametri per la misura della disponibilità:

- TASSO DI IMPIEGO DI UN'ATTREZZATURA PRODUTTIVA = tempo richiesto per la produzione/tempo totale;
- TASSO EFFETTIVO DI DISPONIBILITÀ (in rapporto al tempo richiesto) = tempo effettivo di disponibilità per la produzione/tempo richiesto per la produzione;
- TASSO DI UTILIZZAZIONE DELL'ATTREZZATURA = tempo di funzionamento/tempo effettivo di disponibilità per la produzione.

Una volta definito il concetto di disponibilità risulta automaticamente definito anche quello della *indisponibilità*; i tempo di indisponibilità di funzionamento di un'attrezzatura si dividono in tempi propri di indisponibilità (per non individuazione di un guasto, per la richiesta di manutenzione, per la manutenzione, per la rimessa in servizio dell'attrezzatura) e tempi di indisponibilità per cause esterne.

Una valutazione preventiva della disponibilità del sistema – determinando la disponibilità istantanea e la disponibilità media in un certo intervallo – consente – insieme alla valutazione dei tempi di indisponibilità – di definire la convenienza o meno di un'azione migliorativa ovvero di un miglioramento dell'affidabilità delle attrezzature (o in fase di progettazione o in esercizio, attraverso lo studio delle serie storiche degli interventi e la individuazione dei possibili punti critici su cui intervenire) e della manutenibilità delle stesse.