

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Meccanica e Meccatronica

Titolo:

La manutenzione negli impianti industriali

Maintenance in industrial plants

Relatore: Ch.mo Prof. Alessandro Persona

Laureando: Matteo Padovani

Anno Accademico 2010/2011

Indice:

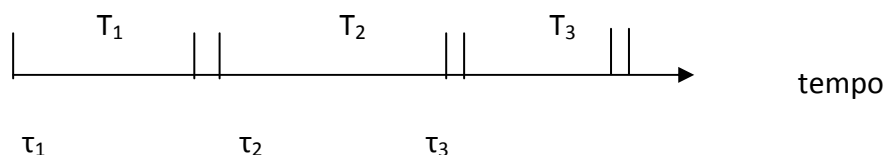
1	- Introduzione alla manutenzione	
1.1	- Definizioni	pag. 5
1.2	- Migliorare il contesto interno	pag. 12
1.3	- La manutenzione è una funzione aziendale	pag. 18
1.4	- Evoluzione e prospettive	pag. 20
2	- Cenni alla teoria dell'affidabilità	
2.1	- Definizioni e parametri affidabilistici	pag. 25
2.2	- La funzione di Weibull	pag. 35
3	- Politiche di manutenzione	
3.1	- Tipi di politiche di manutenzione	pag. 37
3.2	- Come scegliere che politica manutentiva applicare	pag. 38
3.3	- Approfondimento delle politiche manutentive	pag. 41
3.3.1	- Manutenzione incidentale	pag. 41
3.3.2	- Manutenzione migliorativa	pag. 42
3.3.3	- Manutenzione opportunistica	pag. 43
3.3.4	- Total Productive Maintenance	pag. 44
3.3.4.1	- Cenni storici	pag. 45
3.3.4.2	- Componenti principali del TPM	pag. 45
3.3.4.3	- Metriche TPM	pag. 52
3.3.4.4	- Implementazione del TPM	pag. 54
3.3.4.5	- Barriere comuni riscontrate	pag. 56
3.3.4.6	- Fattori di successo e strumenti	pag. 58
3.3.4.7	- Raccomandazioni per il miglioramento	pag. 60
3.3.4.8	- Descrizione dettagliata del TPM	pag. 61
3.3.4.9	- Vantaggi del TPM	pag. 64
3.3.4.10	- Il fallimento del TPM	pag. 69
3.3.5	- Manutenzione preventiva	pag. 71
3.3.5.1	- Alcuni metodi nella m. preventiva	pag. 73
3.3.6	- Manutenzione predittiva	pag. 84
3.4	- La manutenzione in Italia	pag. 86
	Bibliografia	pag. 89

1 - Introduzione alla manutenzione

1.1 - Definizioni

Definizione di Manutenzione

In ogni sistema produttivo le macchine hanno un ciclo di vita in cui si presentano periodi di corretto funzionamento, e periodi in cui non sono operative, determinando la fermata totale o parziale della produzione, con perdite più o meno gravi a seconda del tipo di impianto (produzione continua o a lotti).



Il sostantivo “manutenzione” secondo il Vocabolario di Tullio De Mauro è definito così:

ma|nu|ten|zió|ne s.f.

mantenimento, conservazione in buono stato, in condizioni di efficienza e funzionalità: m. di un impianto, di un edificio, di una strada | il complesso delle operazioni che si devono eseguire a tale scopo.

Il verbo “mantenere”, è invece definito così:

man|te|né|re

v.tr. (io mantèngo)

- 1a fare in modo che qcs. duri a lungo, rimanga inalterato, non venga meno: m. l'ordine, la disciplina, il potere, la pace, m. un ritmo costante, m. l'equilibrio, m. la linea, m. i contatti con qcn.; manteniamo la calma!, stiamo calmi, non perdiamo la testa | conservare un determinato comportamento morale o intellettuale: m. un contegno, una condotta esemplare.
- 1b tener saldo, difendere: m. le posizioni conquistate, m. un primato, il titolo di campione del mondo.
- 2a fare in modo che qcs. rimanga in una determinata condizione: m. fresco un alimento, m. vivo l'interesse di qcn.
- 2b far rimanere qcn. in un determinato stato, in una determinata situazione: m. in vita qcn.,

lo sport lo mantiene giovane.

Entrambe le definizioni evidenziano il ruolo "conservativo" della manutenzione, ruolo che si esprime in diverse dimensioni: buono stato, efficienza, funzionalità. Parallelamente si evidenzia l'aspetto esecutivo delle operazioni di manutenzione finalizzate al ruolo che si è detto.

Un altro aspetto interessante è il concetto di "far durare a lungo". Non c'è manutenzione se non vi è l'esigenza di "mantenere" nel tempo "inalterate" le caratteristiche del sistema.

Nel 1970 la manutenzione fu recepita come "scienza della conservazione" e fu coniato per l'occasione un nuovo termine: Terotecnologia (dal greco terein = conservare) il quale significa letteralmente "tecnologia della conservazione" e deriva dall'unione di due parole greche teros e logos.

Il termine venne definito dalla British Standards Institution (ente normatore inglese fondato nel 1901), il quale associò a terotecnologia questa definizione:

« La terotecnologia è una combinazione di direzione, finanza, ingegneria e altre discipline, applicate ai beni fisici per perseguire un economico costo del ciclo di vita ad esse relativo. Tale obiettivo è ottenuto con il progetto e l'applicazione della disponibilità e della manutenibilità agli impianti, alle macchine, alle attrezzature, ai fabbricati e alle strutture in genere, considerando la loro progettazione, installazione, manutenzione, miglioramento, rimpiazzo con tutti i conseguenti ritorni di informazioni sulla progettazione, le prestazioni e i costi. »

Oggi, la terotecnologia è associata principalmente al concetto di costo del ciclo di vita (LCC), la cui migliore rappresentazione si ha con la curva a vasca da bagno, ossia al tipico andamento del tasso di guasto lungo l'intera vita di un sistema complesso, come fu definita nel primo congresso EFNMS che si tenne nel 1972 a Wiesbaden.

La commissione manutenzione dell'UNI nella UNI 9910 poi UNI 10147, definì la manutenzione come "*Combinazione di tutte le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare una entità in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta*".

Nel 2003 queste norme furono sostituite dalla UNI EN 13306, che definisce la manutenzione come "*combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta*".

La dimensione economica della manutenzione

Un aspetto non evidenziato nella definizione di De Mauro è la dimensione economica. In realtà la dimensione economica è solo nascosta dagli altri significati. Basta porsi qualche semplice domanda:

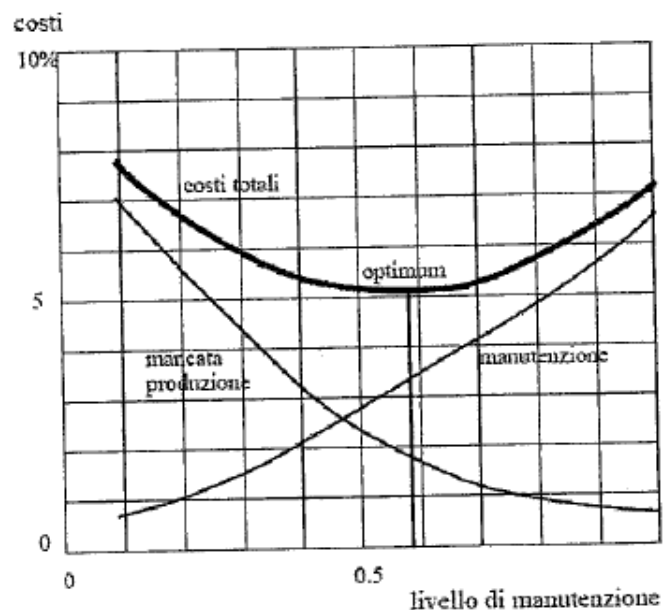
perché devo mantenere inalterato nel tempo lo stato? Oppure, perché devo conservare le condizioni iniziali di efficienza e funzionalità (supposto che siano al tempo zero adeguate)? Oppure ancora, quale interesse ho a fare in modo che “qualcosa duri a lungo”?

La risposta a queste domande è una sola: perché “mantenere” permette di contenere dei costi e, in ultima analisi, eliminare degli sprechi. Basti pensare ai costi di riparazione e di fermo macchina; un periodo di guasto rappresenta un danno considerevole per l'azienda in quanto si trova a dover affrontare spese per riportare il sistema allo stato di funzionamento ottimale senza poterle bilanciarle con ricavi che mancano proprio per l'arresto della produzione

Se non si hanno questi ritorni economici, viene meno anche l'interesse di fare manutenzione.

La manutenzione da un lato aumenta l'affidabilità e le prestazioni di un impianto, dall'altro ne aumenta i costi di esercizio. Lo scopo di un buon imprenditore è quello di trovare un giusto equilibrio tra costi aggiuntivi e benefici futuri derivanti da queste politiche.

La figura seguente rappresenta l'andamento dei costi in funzione del livello di manutenzione:



Un altro aspetto non evidenziato nella definizione di De Mauro si riferisce al valore del sistema oggetto di manutenzione.

L'azione manutentiva, suo malgrado, può portare attraverso ripetute reiterazioni ad una perdita di valore del sistema mantenuto. Abbiamo individuato un'altra dimensione: il mantenimento del valore patrimoniale di un sistema nel tempo.

Naturalmente anche l'evoluzione del valore di un sistema si regge su precise considerazioni di natura economica. Un atteggiamento possibile prevede il mantenimento costante del valore fino ad un certo tempo oltre il quale si ha una perdita rilevante di valore con conseguente sostituzione del sistema.

Un altro atteggiamento può prevedere una diminuzione progressiva del valore fino a "consumare" per intero il sistema e poi sostituirlo.

Sono tutte opportunità interessanti oppure deprimenti, ma anche in questo caso non c'è una regola precisa, la soluzione dipende da fattori ambientali e di contesto.

Le definizioni di De Mauro, mettono ovunque l'accento sulla conservazione, ma la manutenzione può assumere anche un carattere "evolutivo".

La dimensione evolutiva della manutenzione

La dimensione "evolutiva" della manutenzione, prevede che le tecniche manutentive non siano indirizzate al semplice mantenimento dello "status quo", com'è stato visto sinora, ma siano rivolte a seguire e spesso ad incoraggiare una "evoluzione" del sistema, adattandolo a nuove esigenze, al bisogno di migliorare costantemente la produttività, all'esperienza che si fa su di esso.

Le azioni "evolutive" portano al conseguimento di ulteriori economie di gestione.

Ci sono poi due aspetti che riguardano le interfacce del sistema mantenuto. Entrambi si riferiscono all'ambiente esterno al sistema.

La prima interfaccia riguarda il sistema e l'uomo (utilizzatore o manutentore che sia) ed attiene alla sicurezza dell'ambiente circostante al sistema, genericamente detta "luogo di lavoro".

La seconda interfaccia riguarda il sistema e l'ambiente in quanto tale ed attiene al mantenimento di una "ecologia" compatibile con la tutela del patrimonio ambientale e con la salvaguarda dell'ambiente naturale.

La manutenzione si occupa anche delle interfacce quale agente di prevenzione e garanzia.

Non essendo direttamente connesse con l'economicità del sistema, dette interfacce sono realmente tenute sotto controllo solo in società evolute dove la sicurezza delle persone e la tutela dell'ambiente sono valori consolidati.

In una nazione socialmente evoluta, inevitabilmente, le azioni manutentive riconducibili alle interfacce descritte hanno un formidabile impatto economico.

Basta osservare le statistiche sulla sicurezza del lavoro e sui relativi infortuni, le quali evidenziano i costi generati e per contro le economie che si potrebbero conseguire se in qualche modo migliorassero queste statistiche.

Ottenere risultati dalla manutenzione

Il manutentore non può permettersi di fare troppi tentativi ed errori, come vorrebbe l'applicazione del metodo scientifico.

La fase di prevenzione si svolge tranquillamente: la manutenzione è accuratamente pianificata, vi sono controlli che permettono di prevedere il momento dell'intervento, i criteri e le tecniche applicative sono consolidate, è relativamente facile formare un manutentore che debba operare facendo prevenzione.

Quando però il sistema è fermo, tutti si aspettano che un manutentore, dotato della proverbiale bacchetta magica, intervenga rapidamente, esegua la diagnosi e ripristini il funzionamento del sistema nel più breve tempo possibile.

Per questo il manutentore è tendenzialmente un conservatore. Cerca di consolidare le conoscenze evitando di avventurarsi verso nuove tecnologie che potrebbero non rivelarsi altrettanto efficaci nelle operazioni di ripristino come le vecchie.

Il manutentore sa che ogni modifica alle condizioni limite d'esercizio può comportare nuove derive, nuovi problemi, che non necessariamente sarà in grado di affrontare con la consueta rapidità.

Questo atteggiamento non va considerato negativo, è bene che qualcuno si occupi di standardizzare e sistematizzare le conoscenze tecniche.

Tuttavia, come sostiene Taiichi Ohno (mitico ingegnere capo della Toyota nel 1945, poi divenuto vicepresidente), gli standard devono essere continuamente messi in discussione e superati da

nuove concezioni, perché al miglioramento non c'è mai fine.

Il manutentore deve quindi possedere anche una forte motivazione ad innovare. Ciò rappresenta l'atteggiamento "evolutivo" della manutenzione. La proposizione di tanti piccoli interventi migliorativi, rivolti a migliorare prestazioni e affidabilità, che non necessariamente richiedono l'attivazione di rilevanti investimenti. Una politica che comunemente è definita manutenzione migliorativa.

Lo spirito conservatore del manutentore trova un più facile terreno di soddisfazione nelle procedure. È molto difficile modificare i metodi e le procedure di gestione utilizzate da un gruppo di manutentori.

L'introduzione di un nuovo sistema informativo, di una maggiore integrazione con i sistemi aziendali, di modalità più efficienti e automatizzate per gestire gli approvvigionamenti, per citare solo alcuni "classici", ad ogni tentativo di suggerirne l'adozione trovano nel manutentore una fiera opposizione.

Qualora vi sia obbligato, il manutentore non mostra particolare spirito collaborativo, inventandosi lavori urgenti da fare e rendendosi irreperibile nei meandri dello stabilimento.

Da un lato quindi ogni alterazione del contesto tecnico e organizzativo della manutenzione va introdotta facendo molta attenzione a come nel tempo si è stratificata la cosiddetta "cultura aziendale". Se questo particolare è importante sempre, in manutenzione diventa una delle maggiori priorità.

È necessario quindi studiare bene come si sono prodotte certe soluzioni tecnico operative, in specie quelle gestionali che hanno importanti risvolti sociotecnici, capire dove non funzionano, e proporre miglioramenti che dovranno essere il più possibile in sintonia con la "cultura aziendale" precedente all'intervento.

Devono cioè contribuire a far evolvere questa "cultura aziendale" senza introdurre troppe discontinuità che renderebbero la cura più indigesta della malattia.

Alberto Galgano ha recentemente scritto l'ennesimo libro sulla qualità totale (in manutenzione si chiama TPM –Total Productive Maintenance)), lamentando le difficoltà che hanno le aziende italiane a seguire il "metodo Toyota" (qualità totale, produzione snella, valorizzazione dei gruppi) che invece ha dato così lusinghieri risultati in altre parti del mondo.

Secondo Galgano ciò che ostacola la realizzazione di tale modello è la classe dirigente industriale,

troppo miope. Questo sarà anche vero, ma probabilmente non è la ragione principale, almeno in manutenzione.

Ci sarà pur un motivo per il quale, in Italia, il TPM sia così poco diffuso e così male applicato, nonostante le regole per costruire il TPM siano tutto sommato elementari e sia stata scritta una quantità considerevole di libri, pubblicazioni e guide al riguardo, elogiando i vantaggi e i metodi per implementarlo.

D'altro canto, le aziende italiane sono ancora dominate in gran parte dal fordismo (qualcuno dice per il 95%), quindi con una mentalità troppo chiusa per potersi avvicinare al modello Toyota.

Molte di queste esperienze sono irripetibili, per quanto si cerchi di imitare i leader. La questione principale è vincere le resistenze a questo genere di cambiamenti.

Tali resistenze si possono superare o per imposizione da parte dell'alta direzione (che come sostiene Galgano, in Italia, è decisa a muoversi in direzione opposta con un atteggiamento conservatore rispetto a questi temi), o con il convincimento che i cambiamenti introdotti porteranno ad un sicuro miglioramento operativo e se possibile anche ad un miglioramento nelle condizioni di lavoro del manutentore.

Questo ultimo è lo scoglio più imponente perché l'italiano, volendo generalizzare, è tendenzialmente individualista e presuntuoso, due "doti" che male si attagliano allo spirito di squadra e alla disciplina che il TPM vorrebbe instaurare, e che a detta dei più sono fortunatamente compensate da intelligenza e creatività.

Ogni forzatura rispetto a quanto descritto riporterà il servizio di manutenzione alle condizioni iniziali, è solo questione di tempo. Come in ogni sistema stabile che si rispetti.

Lasciamo da parte una specifica metodologia di riferimento, come l'esempio fatto sul TPM, e vediamo quali percorsi possono essere seguiti per ottenere buoni risultati in manutenzione.

Poiché la manutenzione è fatta per due terzi di manodopera ed il resto sono ricambi, ci sono consentite due strade: allenare e migliorare il personale di manutenzione aziendale, o rivolgersi all'esterno dell'impresa, cercando aziende che siano in grado di offrire un servizio e del personale adeguato alle nostre necessità.

Dimostreremo che in realtà solo la prima ipotesi va a fondo del problema, essendo l'intervento di imprese esterne un utile complemento per raggiungere una buona efficienza nel lavoro, che non ci esime però dal modificare il contesto interno.

1.2 - Migliorare il contesto interno

Il contesto interno

Le aziende manifatturiere, grandi medie e piccole, da diversi anni hanno manifestato l'esigenza di una manutenzione "orientata all'utilizzatore".

La piccola e media impresa, bisogna riconoscere, dalle sue origini ha sempre avuto una manutenzione fortemente dipendente e a volte integrata nella produzione. Ciò era dovuto però, più che a ragioni strettamente organizzative, allo scarso potere della manutenzione, presente quasi sempre con poche unità operative².

In Italia l'orientamento all'utilizzatore nasce nell'industria automobilistica e nella grande azienda manifatturiera e si diffonde poi alle manifatturiere medie e piccole, con valenze organizzative diverse rispetto al passato.

L'autorità tecnica della manutenzione non è messa in discussione, come la necessità che questa abbia un "regista", il capo manutenzione, che decide sulle strategie più opportune da adottare. Però i manutentori sono in gran parte dislocati sul campo, le tradizionali attività di officina sono marginalizzate e cedute all'esterno, e c'è una forte collaborazione con la produzione sia nell'ingegneria, sia nell'operatività con la manutenzione autonoma.

Questa trasformazione è avvenuta a "dispetto" del TPM, nel senso che i mutamenti avvenuti nelle tecnologie e soprattutto nell'automazione dei processi, hanno fatto evolvere l'organizzazione verso queste forme "spontanee" di manutenzione produttiva.

Forse anche per questo Galgano, nell'opera citata, osserva come ci siano molte aziende che credono di utilizzare il "metodo Toyota", ma nella realtà ciò non sia vero.

La necessità è stata più forte di qualsiasi teorema espresso da questo o da quel consulente, piuttosto che da una scelta dell'alta direzione.

Tutto ciò non ha però attinenza con la qualità del servizio reso, ne è solo la pregiudiziale.

Certo avere una manutenzione "orientata all'utilizzatore" è un primo passo importante da compiere, ma se poi le azioni manutentive non sono realizzate con cura e con idonei strumenti, la competitività dell'azienda è compromessa, la manutenzione è vista come "cenerentola" e si cerca semplicemente di ridurre i costi, aggravando ulteriormente la situazione.

Affinché la manutenzione migliori il conto economico delle imprese, è necessario rafforzare i suoi principali elementi costitutivi:

- le competenze di base degli addetti;
- la formazione continua per adeguare le competenze nel tempo;
- la diagnostica tecnica precoce;
- il sistema informativo.

Le aziende trascurano questi elementi perché nel breve, considerarli, significa investire nella manutenzione. Mai come in questo caso, il significato di “investimento”, ossia sostenere una spesa oggi per avere un beneficio domani, è azzeccato e remunerativo. Le aziende preferiscono invece lesinare, con i risultati che sono visibili a tutti.

Formazione

In Italia le ore spese per formazione in manutenzione sono 3/5 volte inferiori rispetto ai principali paesi europei, agli Stati Uniti, per non parlare poi del Giappone.

Agendo sulla formazione si aumenta la “consapevolezza del ruolo” nel manutentore e ciò faciliterà l’introduzione di cambiamenti che potranno essere meglio condivisi attraverso la conoscenza, quando non addirittura suggeriti e sostenuti dal manutentore.

La formazione trasforma così l’ansia per il nuovo e il pericolo di non essere all’altezza, in bisogni ed esigenze, muovendo così la fatidica ruota del miglioramento.

Diagnostica

Il mondo della diagnostica, che comprende l’ideologia e gli strumenti, apre nuovi orizzonti al manutentore. Aumenta il livello di struttura di un sistema nel quale il manutentore è in grado di scendere per effettuare una riparazione (la cosiddetta “black box”). Permette di fare “manutenzione” senza eseguire interventi di manutenzione, salvo quando non sia veramente necessario, a tutto vantaggio dell’affidabilità e, soprattutto, della disponibilità del sistema.

La diagnostica va a braccetto con la prevenzione. La prevenzione presuppone che il sistema abbia una vita utile ragionevolmente lunga. Non va quindi utilizzata a sproposito.

Fare manutenzione preventiva su un sistema che ha una vita molto breve non ha senso, poiché non ci sarebbe la possibilità di articolare le politiche prima che il sistema sia terminato, idem per la manutenzione incidentale, poiché il tempo di manutenzione travalicherebbe la vita dei componenti (si pensi ad esempio al motore di una monoposto di formula uno).

La tecnica, in questi anni, ha messo a disposizione del manutentore strumenti sempre più facili da usare, sempre più compatti, sempre meno costosi. Tuttavia non basta desiderare o possedere lo strumento, è necessario che se ne ravvisi la necessità, il bisogno, altrimenti non verrà capito, non si otterrà alcun vantaggio e lo strumento sarà abbandonato in un angolo.

E qui torniamo al bisogno di formazione.

Selezionare un capo manutenzione “visionario”

Quando la manutenzione è fuori controllo, uno dei motivi plausibili è l'assenza di una guida o un capo che sia in grado di organizzare il lavoro. Sia gli imprenditori, sia gli alti dirigenti, sono disorientati, quando si tratta di selezionare il responsabile di manutenzione.

C'è chi, a torto, lo vorrebbe operativo, in grado, ad esempio, di operare sull'automazione e sulla manutenzione meccanica. In realtà questi, nella migliore delle ipotesi cercano un meccanico o un programmatore di PLC, non un manager della manutenzione. Queste persone hanno una mentalità legata alla “vecchia concezione” della manutenzione, ovvero un'attività inutile che non produce e va quindi limitata.

Essi non si rendono conto che se trovano un buon capo manutenzione, non solo risolveranno i problemi di automazione o di manutenzione meccanica (indirettamente attraverso risorse guidate dal capo manutenzione), ma risolveranno anche molti altri problemi dei quali non sapevano nemmeno l'esistenza.

C'è chi invece, all'estremo opposto, lo vuole ingegnere a tutto tondo, un progettista, un “animale da tecnigrafo”, ma questa figura è, in un certo senso, in antitesi con la manutenzione che deve continuamente coltivare l'esercizio del possibile e non dell'ottimo progettuale.

Un buon capo manutenzione deve essere anche un “visionario”, ovvero riuscire ad ottimizzare il servizio di manutenzione dell'azienda e cercare di superare sempre i limiti economici, produttivi e legati alla sicurezza in cui si imbatte.

Il responsabile deve cioè essere il “regista” di quanto avviene in manutenzione. La forza lavoro (gli attori) può anche non dipendere direttamente da lui ed essere fornita da un'impresa esterna, però alla fine è lui che deve far quadrare i conti, recuperando sprechi e inefficienze.

Deve avere una strategia efficace, essere una guida, ed insegnare le tattiche appropriate a dominare il fabbisogno di manutenzione. Un ruolo simile a quello di un allenatore in una squadra

di calcio.

Le sue competenze comprendono l'ingegneria, l'economia aziendale, le tecniche manutentive e diagnostiche, ma soprattutto deve conoscere intimamente la "filosofia" manutentiva e le sue implicazioni in primo luogo nell'organizzazione del servizio.

Un servizio di manutenzione privo di un responsabile degno di questo nome non sarà mai in grado di sostenere la competitività dell'azienda.

Ci sono teorie? Una manutenzione per competere

Douglas McGregor in "The Human Side of Enterprise" (1960) ha descritto i suoi modelli di teoria "X" e teoria "Y", completate poi da William Ouchi nel 1981 con una teoria "Z" che integra le precedenti pratiche americane con le emergenti pratiche giapponesi in materia di gestione delle risorse umane.

In manutenzione la teoria migliore è che non c'è una teoria che enuclei, faccia comprendere, e suggerisca le azioni da fare per ottenere una manutenzione competitiva.

La maggioranza degli autori si rifà alla propria esperienza di lavoro, che spazia dall'aeronautico al nucleare, dal ferroviario all'automobilistico, dalla raffineria alla chimica. L'azienda manifatturiera propriamente detta è, in media, poco rappresentata.

Ciascuno, con grande determinazione, sviluppa nelle pagine del libro, le tecniche, le metodologie e i presupposti organizzativi per realizzare una buona manutenzione. Suggerendo percorsi di miglioramento, soluzioni organizzative, metodi di gestione, tecniche diagnostiche e dimostrando effettivamente come tutto ciò ha migliorato nell'azienda (o nelle aziende) di origine il "rendimento" della manutenzione. Ossia come ottenere con poca spesa grandi benefici.

Sebbene il format del libro si presta a romanzare una parte degli avvenimenti, probabilmente tali risultati non sono stati effettivamente raggiunti.

Molte delle aziende descritte compiutamente su questi libri, con il proprio nome o in astratto, non ci sono più o il settore al quale appartengono rappresenta oggi una minoranza rispetto all'insieme delle imprese manifatturiere italiane.

Le ricette che si leggono, sono molto interessanti, e certamente formano la base delle conoscenze manutentive oggi formalizzate, ma non sono sempre applicabili dovunque e comunque.

Se consideriamo l'oggetto mantenuto un sistema astratto, possiamo definire regole di manutenzione, politiche, modelli di gestione che si applicano a qualunque contesto anche se il sistema non è fisico (ad esempio una organizzazione).

Proprio perché si possono applicare a qualsiasi contesto, i principi generali della manutenzione sono appunto generali, assomigliano più ad una filosofia che ad un manuale operativo. Possono, anzi devono, essere insegnati a chiunque abbia a che fare con la manutenzione perché di essa ne rappresentano i tratti essenziali.

Sfortunatamente nel caso di un sistema reale, bisogna scendere ad un livello di dettaglio e di operabilità, come hanno fatto brillantemente i manuali di cui sopra, che impedisce di generalizzare sia le ipotesi sia le conclusioni.

In altre parole ogni azienda, ogni categoria d'impresa deve, partendo dalla "filosofia manutentiva" che rappresenta il sapere che abbiamo accumulato in tutti questi anni, analizzare il proprio contesto operativo (produttivo e manutentivo) e trarre da esso le opportune conseguenze.

Ciò permetterà la realizzazione di norme, procedure, metodi di manutenzione, criteri di progettazione e di gestione, che partendo da quella "filosofia" siano funzionali agli obiettivi dell'azienda.

Sarebbe quindi auspicabile focalizzare la propria attenzione più che sull'adattabilità del proprio sistema di manutenzione, quando non dell'intero sistema produttivo, ad un determinato modello di management o ad una determinata teoria, sui presupposti affinché quel modello non proprio adeguato sia in grado di funzionare.

Si tratta di una rivoluzione, più ancora che tecnologica, culturale.

Manutentori ben addestrati sono in grado di adeguare e orientare il modello di gestione adottato (ad esempio il TPM) verso gli obiettivi aziendali. Semplificazioni e incomplete interpretazioni del modello passano così in secondo piano.

Viceversa un modello compiutamente realizzato da manutentori scadenti e poco professionalizzati, non darà nemmeno uno dei risultati che ci si aspettava. Non solo, ma non appena il controllo si sarà allentato la situazione tornerà allo stadio precedente l'introduzione di questo modello, semplicemente perché esso non è stato interiorizzato dal personale, ma subito passivamente.

Come abbiamo già ampiamente affermato, la manutenzione si basa su un equilibrio fra

improvvisazione e prevenzione, entrambe sono necessarie, ma il loro mix varia in relazione all'azienda. Gli estremi in genere rappresentano in questo caso delle patologie intollerabili.

Non si vogliono con questo sminuire i grandi risultati che la prevenzione ha consentito di ottenere in manutenzione. Solo che la prevenzione è un po' come le vitamine nel nostro organismo, sono indispensabili, ma assunte oltre un certo livello, ciò che avanza viene gettato via.

Poiché fare manutenzione preventiva ha un costo non indifferente, lo spreco derivante da una manutenzione preventiva svolta dove non è necessaria non è molto diverso dallo spreco derivante dall'accumulo di ricambi nel magazzino, o dall'inaffidabilità dei sistemi, o dalle inefficienze nella esecuzione degli interventi.

La personalizzazione e l'adattamento della "filosofia" manutentiva alle esigenze dell'azienda, richiede tempo, energia e determinazione. Non si può ricondurre ad una formula comune e condivisa. Non è un percorso semplice né poco faticoso, ma giunti alla fine del viaggio, il servizio di manutenzione può fare la differenza nel determinare la competitività aziendale.

La legge Merloni (Legge 109/94) prevede che venga redatto un piano di manutenzione che pianifica e regola gli interventi manutentivi in ogni impianto.

Per concludere

la manutenzione è quindi quella funzione aziendale che realizza la supervisione degli impianti sia di produzione che di servizio e che deve progettare e realizzare interventi con lo scopo di:

- garantire la potenzialità nominale ed il buono stato di conservazione delle attrezzature nei periodi di funzionamento T_i
- ridurre gli intervalli di fermata τ_i , e i relativi costi che ciò comporta
- ripristinare lo stato ottimale in caso di guasti, nel minor tempo possibile magari avvalendosi di "campanelli d'allarme" (esempio progettazione in fail safe)
- integrarsi con le varie funzioni aziendali, in modo da non essere subita come un'imposizione bensì un supporto
- migliorarsi continuamente combinando conoscenze/esperienze acquisite a nuove metodologie
- garantire la sicurezza degli operatori
- scegliere il metodo più adatto per il caso in esame

1.3 - La manutenzione è una funzione aziendale

L'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) nel 1963 definì la manutenzione come *"Quella funzione aziendale alla quale sono demandati il controllo costante degli impianti e l'insieme dei lavori di riparazione e revisione necessari ad assicurare il funzionamento regolare e il buono stato di conservazione degli impianti produttivi, dei servizi e delle attrezzature di stabilimento."*

Per essere una valida risorsa essa deve essere fortemente legata ed integrata con le altre funzioni aziendali, supportata da un sistema informativo che permetta di correggere o rivedere eventuali errori di valutazione con minime ripercussioni sul bilancio.

Le attività della funzione manutenzione sono:

- Determinare il piano di manutenzione
- Analizzare i guasti e determinare la politica manutentiva più adeguata
- Generare e gestire un flusso informativo completo
- Analizzare e progettare eventuali modifiche impiantistiche per migliorarne il funzionamento;

Per essere efficace, la funzione manutenzione deve cooperare con le altre funzioni presenti in azienda:

- manutenzione - pianificazione del lavoro.
Lo scopo è quello di far coincidere le attività di manutenzione (che portano a un arresto temporaneo di una parte o della totalità della produzione per controlli-riparazioni) con i tempi in cui la produzione è già ferma per riattrezzaggi o pause al fine di ridurre i down time.
- manutenzione - programmazione della produzione.
Il tempo dedicato alla cura dell'impianto deve incidere il meno possibile con i piani di lavoro delle unità produttive.
- manutenzione - direzione del personale.
E' necessario affidare un'attività importante come la manutenzione a personale altamente qualificato, e quindi servono continui corsi di aggiornamento.
- manutenzione - progettazione.
Il progettista e il manutentore devono collaborare nella progettazione. Il manutentore

deve fornire tutte le informazioni utili al progettista riguardo dati storici e circostanze più frequenti di guasto in modo da poter progettare un componente che rispetta sia le specifiche meccaniche sia quelle per integrare al meglio la manutenzione.

- manutenzione - pianificazione strategica.

I piani e le risorse del sistema manutentivo devono essere in linea con le strategie di lungo periodo dell'azienda. Nuovi investimenti, infatti, richiedono nuovo personale o addestramento di quello presente.

- manutenzione - controllo qualità.

La produzione di pezzi difettosi porta a uno scarto maggiore che si traduce in costo aggiuntivo e a seconda dei pezzi anche un rischio per il consumatore.

- manutenzione - approvvigionamento.

Il manutentore deve controllare se i pezzi inviati per le riparazioni rispettano le specifiche richieste, deve gestire la quantità di scorte in magazzino in base alla frequenza dello specifico guasto e mantenere una rete di fornitori che nel minor tempo possibile possano inviare quanto necessario.

- manutenzione - amministrazione.

Deve esserci un grande e continuo scambio di dati tra manutentori e amministrazione sia a livello di budget che l'azienda è intenzionata a spendere, sia per l'organizzazione dato che la manutenzione è legata a quasi tutte le funzioni aziendali

- manutenzione - centro elaborazione dati (CED).

Il CED è una funzione che rende disponibili le informazioni necessarie per attuare le scelte nel modo più corretto possibile.

La manutenzione può essere considerata come una politica aziendale in continua evoluzione. In passato l'approccio era di tipo empirico, raccogliendo continuamente dati si valutava a posteriori se l'intervento era stato vantaggioso o meno. Ora invece sono state elaborate nuove tecniche più rigorose che permettono di analizzare a priori l'effetto dell'intervento con metodi basati sull'affidabilità. Questo approccio è gestito dall'ingegneria della manutenzione.



I processi organizzativi possono essere suddivisi in tre gruppi:

- 1) Processo di Ingegneria della manutenzione: suggerisce possibili varianti e miglioramenti all'attuale metodo di manutenzione basandosi su dati ed elaborazioni mediante software opportuni
- 2) Processo di Gestione della manutenzione: invia ordini operativi all'Esecuzione della manutenzione e riceve da essa lo stato di avanzamento degli stessi;
- 3) Processo di Esecuzione della manutenzione: attua gli interventi manutentivi.

1.4 - Evoluzione e prospettive

La manutenzione è un'attività non vista di buon occhio dagli imprenditori, soprattutto all'inizio del suo sviluppo, poiché di fatto non produce nulla e sembra sia solo una fonte di costo.

Secondo Pier Giorgio Perotto (Torino, 24 dicembre 1930 - Genova, 23 gennaio 2002, ingegnere e informatico, docente del Politecnico di Torino): *“Le attività di manutenzione non pretendono di trasformare il mondo, i loro obiettivi non sono esprimibili in modo semplice, non hanno il fascino mozzafiato di attività che producono oggetti con prestazioni elevatissime, vanno continuamente e periodicamente ripetute e se hanno successo il loro effetto non si vede.”*

Invece la manutenzione è un'attività fondamentale in un impianto, e ciò viene confermato dal crescente interesse che possiamo registrare negli ultimi anni da parte delle maggiori aziende a livello internazionale e non.

Ovviamente portare dal piano teorico al piano pratico è sempre un'operazione lunga e difficile, poiché bisogna sia superare problemi di tipo tecnico ed economico, ma anche problemi ideologici dovuti a mentalità di dirigenti ottuse o troppo conservative.

Solo i sistemi che hanno ciclo di vita molto breve sfuggono a questa pratica. Non appena però ci si imbatte in un sistema destinato a durare negli anni, la manutenzione diventa un elemento determinante per il suo pieno sfruttamento economico. La manutenzione può essere effettuata in maniera opportuna in un contesto in cui sia presente un'etica della responsabilità, volta a limitare ogni forma di spreco.

L'evoluzione dell'approccio alla manutenzione può essere sintetizzata nel modo seguente:

	<1950	1950-1975	1975-2000	>2000
<i>Anno</i>				
<i>Evoluzioni Produttive e di Mercato</i>	<i>Lavorazioni manuali (sistemi semplici)</i>	<i>Meccanizzazione (sistemi complessi)</i>	<i>Automazione (sistemi molto complessi)</i>	<i>Globalizzazione (evoluzione del mercato)</i>
<i>Approccio</i>	<i>Interventi correttivi, visti come un "male necessario", a servizio della produzione</i>	<i>Interventi preventivi, visti come un bisogno tecnico, operati dai manutentori</i>	<i>Introduzione del concetto di "funzione aziendale" da integrare con le altre, per ottenere un vantaggio economico</i>	<i>Incontro tra manutenzione e produzione, introduzione dei principi giapponesi, sforzo manutentivo globale</i>

Uno studio dell' A.I.MAN. (Associazione Italiana della Manutenzione) del 2004 su 174 imprese, con un numero di addetti tra 2 e 200 ed un fatturato annuo compreso tra 500.000 e 50 milioni di euro, ha evidenziato i seguenti risultati:

<i>dipendenti</i>	<i>Presenza funzione manutenzione</i>
1-15	29%
16-50	53%
>50	85%

Si nota come le piccole-medie imprese siano ancora restie a dedicare risorse alla funzione manutenzione e le imprese più grandi presentano un poco incoraggiante 85%.

Inoltre dalla stessa indagine risulta che il costo per la manutenzione assorbe una parte significativa del fatturato, tra il 4% e l'8% a seconda del tipo di attività. E' proprio per questo che oggi c'è una politica sempre più attenta alla manutenzione: nono se ne può fare senza, e al contempo usata correttamente permette di alzare il fatturato riducendo gli sprechi.

È possibile classificare le attività manutentive in due tipi a seconda dello scopo per cui sono eseguite:

- Manutenzione ordinaria
- Manutenzione straordinaria

La principale differenza di trattamento fra manutenzione ordinaria e manutenzione straordinaria sta proprio nella loro natura:

- la prima comprende la semplice manutenzione correttiva e la manutenzione preventiva minore (limitatamente alle operazioni di routine e di prevenzione del guasto)
- la seconda comprende tutte le restanti azioni manutentive come la manutenzione migliorativa e la manutenzione preventiva rilevante (quali ad esempio revisioni, che in genere aumentano il valore dei sistemi e/o ne prolungano la longevità).

Manutenzione ordinaria

Si intende con manutenzione ordinaria, l'insieme delle azioni manutentive che hanno quale unico scopo quello di riportare un sistema (o un suo componente) in stato di avaria, allo stato di buon funzionamento precedente l'insorgere di codesta avaria, senza modificare o migliorare le funzioni svolte dal sistema, né aumentarne il valore, né migliorarne le prestazioni.

Sulla base di questa definizione il fisco italiano fino a qualche decina di anni fa consentiva di considerare come manutenzione ordinaria, e conseguentemente spendere

nell'esercizio, un importo massimo pari al 5% delle immobilizzazioni tecniche lorde. Le attività di manutenzione eccedenti la quota del 5% venivano considerate come manutenzione straordinaria, indipendentemente dallo scopo per il quale erano state eseguite, per cui andavano spese su più annualità seguendo i criteri di ammortamento del sistema in questione. È evidente come questa distinzione fiscale fosse adeguata per la gran parte dell'industria manifatturiera leggera, ma fortemente penalizzante per l'industria manifatturiera pesante, detta anche industria di processo. Gran parte di queste industrie, infatti, come ad esempio la siderurgica e metallurgica, la chimica e petrolchimica, la cementiera, la produzione di energia, hanno costi di manutenzione ordinaria che superano anche abbondantemente il limite del 5% sulle immobilizzazioni tecniche lorde (per la siderurgica fino a tre volte). Il legislatore ha corretto questa impostazione nei primi anni '90, dando facoltà di sfiorare il limite del 5% a tutte le imprese caratterizzate da rilevanti costi di manutenzione ordinaria.

Manutenzione straordinaria

Si intende con manutenzione straordinaria l'insieme delle azioni migliorative, la manutenzione preventiva rilevante che ha lo scopo di aumentare il valore dei sistemi e/o ne prolungarne la longevità ed in taluni casi anche azioni correttive (Manutenzione correttiva), quando l'intervento correttivo aumenta in modo significativo il valore residuo e/o la longevità del sistema.

Lo scopo della manutenzione straordinaria non è dettato da una esigenza impellente di ripristinare il livello ottimale di funzionamento ma piuttosto da una gestione economica del sistema mantenuto. Essa, come dice la parola stessa, ha un carattere di straordinarietà, ossia interviene nelle grandi manutenzioni ai sistemi, specie quelli che debbono funzionare a ciclo continuo, affinché fra un periodo e l'altro di intervento ci siano problemi minimi di avaria, in genere coperti con ridondanze o riconfigurazioni del sistema.

Un altro filone importante della manutenzione straordinaria riguarda il miglioramento delle prestazioni e dell'affidabilità. Con il passare del tempo le esigenze di prestazione aumentano, perché anno dopo anno, appaiono sul mercato nuovi modelli, nuove tecnologie, per cui il gestore dell'impianto si trova spesso nella necessità di valutare il rimpiazzo di un sistema o di una sua parte al fine di ridurre il suo grado di obsolescenza, nonché aumentarne la longevità.

La maggiore longevità dei sistemi, sia fisica sia tecnologica, permette infatti di ripartire su un maggior numero di annualità i costi di acquisto, ai quali nel tempo si aggiungono anche i costi della Manutenzione straordinaria che va ad incrementare il valore patrimoniale da sottoporre alla procedura di ammortamento.

Tuttavia l'aumento della longevità al giorno d'oggi è sempre meno importante, specie nel manifatturiero leggero, dove la vita media di un impianto è molto breve proprio per la rapidità con cui esso raggiunge l'obsolescenza.

2 - Cenni alla teoria dell'affidabilità

2.1 - Definizioni e parametri affidabilistici

Per descrivere compiutamente e approfonditamente le politiche manutentive, è necessario introdurre alcune definizioni e alcuni parametri che derivano dalla “Teoria dell'affidabilità”.

La disciplina nota con il nome di affidabilità è stata sviluppata con lo scopo di fornire metodi per valutare se un prodotto o un servizio sarà funzionante per la durata in cui l'utente lo richiederà. Questi metodi consistono in tecniche per determinare cosa potrebbe non funzionare, come si possa prevenire il guasto e, nel caso in cui il guasto si verifichi, quali siano gli interventi più adatti a ripristinare rapidamente il funzionamento e limitare le conseguenze.

La definizione più completa è quella che indica l'affidabilità di un elemento/sistema come la probabilità che l'elemento/sistema:

- eseguirà una specifica funzione
- sotto specifiche condizioni operative ed ambientali
- ad un dato istante e/o per un prefissato intervallo di tempo

La teoria dell'affidabilità è una materia molto vasta; di seguito verrà trattata in maniera semplificata analizzando gli aspetti inerenti la manutenzione.

In generale si indica con il termine guasto la “cessazione dell'attitudine di un dispositivo ad adempiere alla funzione richiesta”, ovvero una variazione delle prestazioni del dispositivo che lo renda inservibile per l'uso al quale esso era destinato. In questi termini risulta guasto anche un dispositivo che non esegue correttamente la funzione per la quale è stato progettato.

ESEMPIO Una stampante che non stampa è certamente guasta, ma si può ritenere guasta anche una stampante che stampa i caratteri deformandoli o sporcando i fogli (qualità).

In questo senso possiamo distinguere:

- guasti parziali: determinano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da non compromettere del tutto il funzionamento (degrado delle prestazioni o perdita di qualità del prodotto);
- guasti totali: causano una variazione delle prestazioni del dispositivo tale da impedirne del tutto il funzionamento;

- guasti intermittenti: dovuti ad una successione casuale di periodi di guasto e di periodi di funzionamento, senza che ci sia alcun intervento di manutenzione (esempio tipico il blocco di funzionamento di un computer che riprende a funzionare dopo che viene spento e riacceso).

Occorre precisare che la condizione di guasto si riferisce in generale al solo dispositivo preso in esame: se tale dispositivo è inserito in un sistema più complesso, il suo guasto può anche non causare il guasto dell'intero sistema, pur avendo effetti negativi sulla sua affidabilità.

ESEMPIO Un guasto meccanico al motore rende inservibile un'automobile mentre se si guasta il tachimetro l'automobile continua a funzionare, anche se non riusciamo a sapere a che velocità stiamo procedendo.

Anche in questo caso possiamo allora distinguere:

- guasti di primaria importanza: quelli che riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte;
- guasti di secondaria importanza: quelli che non riducono la funzionalità dell'intero sistema del quale fanno parte.

Ancora più gravi dei guasti di primaria importanza sono quei guasti che rappresentano un rischio per l'incolumità delle persone e che possiamo quindi definire guasti critici.

I componenti possono essere suddivisi in due categorie:

- riparabili (soggetti a cicli di funzionamento, rottura, funzionamento)
- non riparabili (soggetti a sostituzione in seguito a un guasto)

Componente	Terminologia I	Terminologia II
Non riparabile		
Riparabile		

Siccome tutti i componenti fino al primo guasto subiscono lo stesso ciclo, possiamo considerare i componenti riparabili come componenti non riparabili e applicare le medesime formule senza introdurre errori considerevoli.

Per semplificare la trattazione si impongono le due seguenti ipotesi:

- Il componente presenta solo due stati possibili: di funzionamento e non funzionamento;
- Il passaggio da uno stato all'altro avviene istantaneamente.

Tempo al guasto τ

Un generico componente presenta dei periodi in cui non è in grado di funzionare; il tempo che intercorre tra due guasti si indica con τ e viene chiamato tempo al guasto o TTF (time to failure). Viene definita una grandezza di tipo casuale poiché dipende da numerosi fattori ed è praticamente impossibile riuscire a determinare il singolo contributo di ciascun fattore indipendentemente.

A volte il comportamento di τ può essere descritto da funzioni $f(t)$ che rappresentano la distribuzione di probabilità dei valori di τ .

Per esse valgono le seguenti proprietà:

Probabilità che $\tau < T$
$$P(\tau < T) = \int_{-\infty}^T f(x) dx$$

Condizione di normalizzazione
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$$

$f(t)$ è detto *rateo di guasto non condizionato* e rappresenta la velocità puntuale (al tempo t) con cui un generico componente si rompe all'istante t , quando è messo in funzione all'istante $t = 0$.

Probabilità di guasto $F(t)$

Questa grandezza è la funzione cumulata della $f(t)$ e rappresenta la probabilità che un componente si rompa nell'intervallo $T = [0, t]$.

Essa è definita da:

$$F(T) = \int_{-\infty}^t f(x) dx = \int_0^t f(x) dx$$

e corrisponde alla probabilità che il tempo tra guasti sia inferiore a t .

Di conseguenza si ha che:

$$f(t) = \frac{dF(T)}{dt}$$

Affidabilità di un componente $R(t)$

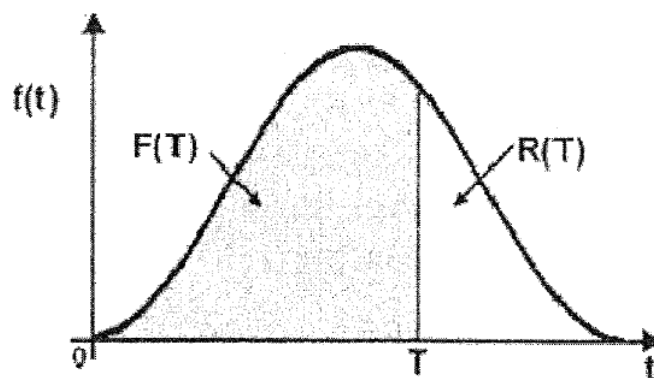
Si definisce affidabilità di un componente, la probabilità cumulativa che nell'intervallo $T=(t-t_0)$ esso svolga la sua funzione senza subire guasti, date le condizioni ambientali e il processo in cui è chiamato ad operare. Si tratta quindi di una grandezza definita in un intervallo T , tuttavia spesso si indica come $R(t)$, poiché fissato il tempo t_0 in cui si mette in opera il componente, t determina univocamente anche l'intervallo $T=t-t_0$. L'espressione più generale dell'affidabilità è:

$$R(T) = \int_T^{\infty} f(x)dx$$

e corrisponde alla probabilità che il tempo tra guasti sia non inferiore a T .

Essa è quindi il complementare all'unità della probabilità di guasto $F(T)$.

Ne consegue che in caso di una funzione di distribuzione $f(t)$ normale, si ha la seguente situazione:



Funzione empirica dell'affidabilità

Considerando un campione di N elementi tutti uguali, si possono ottenere alcune espressioni empiriche utilizzabili nella pratica:

- N numero totale di componenti identici messi in funzione all'istante $t=0$;
- $N_g(t)$ numero di componenti guasti all'istante t ;

- $N_s(t)$ numero di componenti funzionanti all'istante t.

Si ricorda che in ogni istante t: $N_g(t) + N_s(t) = N$

La funzione empirica dell'affidabilità è:

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N} = \frac{N - N_g(t)}{N}$$

Segue l'espressione della probabilità di guasto:

$$F(t) = \frac{N_g(t)}{N} = \frac{N - N_s(t)}{N} = 1 - R(t)$$

Ricordando che $f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$ si ottiene anche $f(x) = -\frac{dR(t)}{dt}$

Si può osservare che:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$$

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

Le relazioni empiriche introdotte sono tanto più rispettate quanto maggiore è il numero N di componenti identici analizzati.

Rateo di guasto condizionato $\lambda(t)$

Il rateo di guasto condizionato viene chiamato anche tasso di guasto o hazard function ed è il parametro più usato per caratterizzare l'affidabilità. Rappresenta la probabilità che un componente, funzionante all'istante t, si guasti nell'intervallo $[t, t + \Delta t]$ ed è una grandezza puntuale. Il termine condizionato deriva dalla condizione imposta che il componente funzioni all'istante t.

$$\lambda(t) \cdot \Delta t = P(t \leq \tau \leq t + \Delta t - \text{funzionante in } t)$$

Dove P è la probabilità che il componente si guasti.

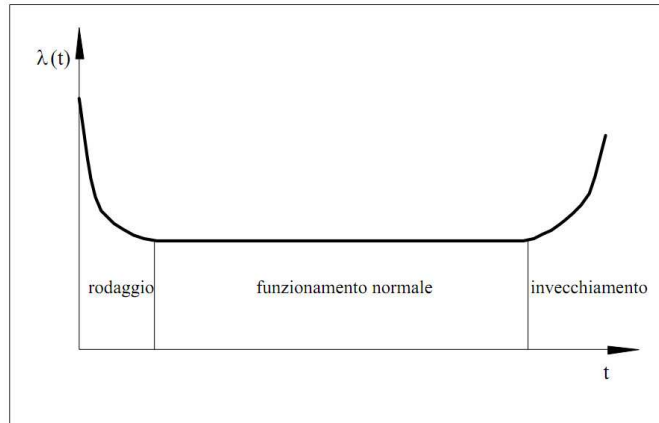
La funzione $\lambda(t)$ ha un significato simile alla $f(t)$; l'unica differenza è che la funzione $f(t)$ si basa sulla totalità della popolazione, la funzione $\lambda(t)$ invece solo sui campioni sopravvissuti fino all'istante t. Quindi al massimo la popolazione che viene considerata da $\lambda(t)$ è $\leq N$.

E' possibile ricavare il fattore di $\lambda(t)$ partendo dallo storico dei guasti e utilizzando il teorema di Bayes (impiegato per calcolare la probabilità di una causa che ha scatenato l'evento verificato):

$$\lambda(t) \cdot \Delta t = \frac{N_g(t + \Delta t) - N_g(t)}{N_s(t)}$$

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N_g(t + \Delta t) - N_g(t)}{N_s(t) \cdot \Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{N \cdot F(t + \Delta t) - N \cdot F(t)}{N \cdot R(t) \cdot \Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Si rappresenta di seguito l'andamento tipico di $\lambda(t)$ per i componenti meccanici soggetti a usura:



L'andamento del rateo di guasto assume una forma conosciuta come "Curva a vasca da bagno".

Si distinguono 3 fasi:

- I. Rodaggio: i componenti più deboli si rompono fin da subito. Ciò è dovuto a difetti nascosti che portano a rottura per fatica oligociclica già nelle prime ore di funzionamento (mortalità infantile). Col passare del tempo il fenomeno termina e $\lambda(t)$ tende a diminuire.
- II. Funzionamento normale o Vita utile: $\lambda(t)$ ha valore costante perché i guasti avvengono in modo casuale.
- III. Invecchiamento o Usura: $\lambda(t)$ presenta un andamento crescente poiché il degrado e l'usura hanno ridotto le proprietà di resistenza dei componenti.

Si osserva che per alcuni componenti l'andamento del rateo può essere diverso da quello rappresentato.

Ad esempio si possono avere andamenti:

- Crescenti a ritmo costante;
- Costanti, nel caso di distribuzione completamente casuale dei guasti;
- Con mortalità infantile e in seguito costanti;
- Con usura iniziale e in seguito costanti;
- Costante con mortalità finale.

Esistono inoltre componenti che non presentano rodaggio, poiché sono stati fatti precedentemente dei controlli rigorosi che hanno scartato la maggior parte dei pezzi contenenti difetti; ci sono anche pezzi che invece non presentano un'apprezzabile fase di invecchiamento.

Per la grande maggioranza degli articoli esiste quindi un lungo periodo nel quale il rischio di guasto è praticamente costante. In base a queste osservazioni si può trascurare il periodo di rodaggio, pensando che il funzionamento dell'articolo inizi al termine di tale periodo. Si può trascurare anche l'invecchiamento poiché molti componenti cessano di lavorare prima di tale periodo.

Queste considerazioni mostrano che per una larga classe di articoli possiamo assumere che $\lambda(t) = \lambda = \text{cost.}$

Per un rischio di guasto costante, la funzione di affidabilità assume la forma della legge esponenziale e la densità di probabilità di guasto diviene :

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

Allora, la probabilità di guasto durante il tempo t è:

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

La durata di vita dell'articolo è:

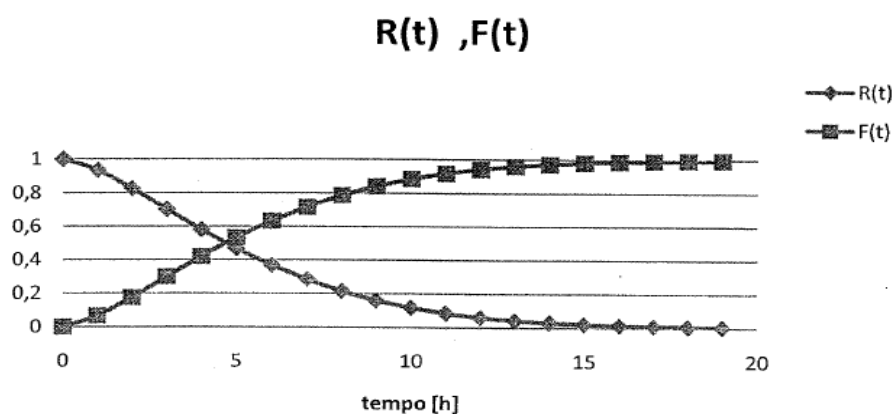
$$\mu(t) = \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

La legge esponenziale è diffusamente impiegata in teoria dell'affidabilità.

Inoltre la funzione di affidabilità può essere scritta nella forma:

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

Si rappresenta di seguito l'andamento qualitativo dell'affidabilità e della probabilità di guasto in caso di distribuzione esponenziale:



Affidabilità di un sistema $R_s(T)$:

E' possibile calcolare l'affidabilità composta nel caso di un sistema costituito da molti componenti. Riportiamo di seguito le formule:

- Sistemi con n componenti in serie:

$$R_s(T) = \prod_{i=1}^n R_i(T)$$

(essendo i componenti in serie basta che uno si rompa per inficiare tutta la linea)

- Sistemi con n componenti in parallelo:

$$R_s(T) = 1 - F_s(T) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(T))$$

(sistema con ridondanza totale, ovvero affinché il sistema funzioni basta che solo uno dei due componenti del parallelo lavori correttamente)

Manutenibilità di un componente

La probabilità cumulativa $F(T_r)$ che un intervento manutentivo termini entro il termine T_r concesso definisce la manutenibilità.

Indichiamo con t_r il tempo necessario affinché un componente venga riparato in seguito ad un guasto.

Tasso di manutenibilità $\mu(t)$

Indica la probabilità che un intervento non ancora concluso in t_r termini in un intervallo $[t_r, t_r+dt]$.

(E' analogo al tasso di guasto)

Disponibilità di un componente A

In un impianto la condizione ideale sarebbe una produzione costantemente a regime senza intoppi per massimizzare il ricavo. Purtroppo non è così. Si alternano infatti cicli di funzionamento, guasti e interventi di manutenzione per ripristinare la produttività. Per questo motivo introduciamo dei parametri che tengano conto sia del tempo impiegato per gli interventi di manutenzione sia della frequenza con cui si verificano tali guasti.

Si definisce UP TIME e si indica con UT il tempo in cui il componente o il sistema è

disponibile e funziona correttamente;

Si definisce DOWN TIME e si indica con DT il tempo in cui il componente o il sistema è fuori servizio;

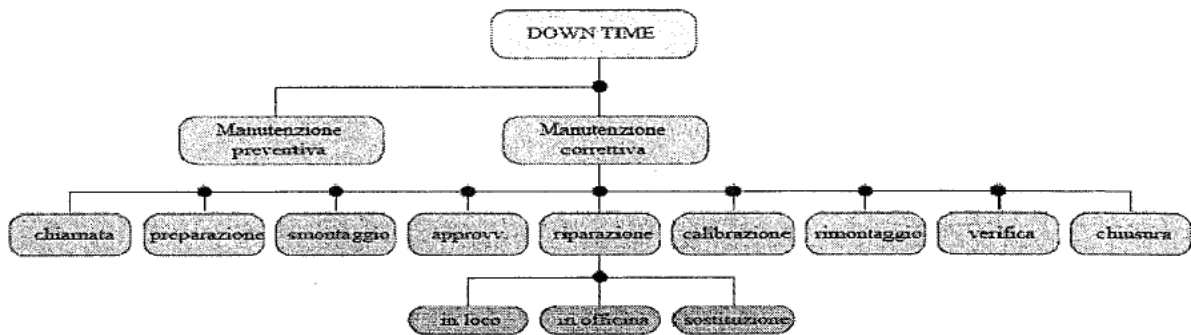
Si definisce infine TOTAL TIME e si indica con TT il tempo totale, cioè la somma di up time e down time.

La disponibilità A si calcola come:

$$A = \frac{\sum UT_i}{TT} = \frac{\sum UT_i}{\sum UT_i + \sum DT_i}$$

Uno degli scopi del manutentore è quello di aumentare il più possibile la disponibilità, e per fare ciò bisogna alzare la manutenibilità e l'affidabilità dei componenti in esercizio, in modo tale da ridurre al minimo le fermate e minimizzare le perdite.

Il down time dipende da molti fattori:



Solo nel caso in cui gli interventi di manutenzione preventiva avvengano in contemporanea alla produzione, si calcola tale tempo come un down time. Se invece si seguono le direttive della manutenzione opportunistica possono essere sovrapposti ad altri fermo impianto massimizzando così la fermata e condensando più operazioni.

Disponibilità di un sistema A_s

Sistemi composti da più componenti presentano una disponibilità che possiamo calcolare come di seguito:

- Sistemi in serie con n componenti:

$$A_s = \prod_{i=1}^n A_i$$

- Sistemi con n componenti in parallelo di tipo ridondante:

$$A_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i)$$

(ovvero affinché il sistema funzioni basta che solo uno dei due componenti del parallelo lavori correttamente)

- Sistemi con componenti in parallelo di tipo non ridondante:

$$A_s = \frac{\sum_{i=1}^N p_i q_i}{\sum_{i=1}^N p_i}$$

Dove:

N è il numero massimo di stati di funzionamento possibili del sistema;

p_i è la probabilità che il sistema si trovi nello stato i-esimo;

q_i è la potenzialità percentuale rispetto a quella nominale nello stato i-esimo.

Questo caso si realizza con componenti che svolgono la medesima funzione (in parallelo appunto). Siccome però non siamo nel caso del parallelo ridondante, un malfunzionamento di un componente porta alla diminuzione della potenzialità totale del sistema; essendo però in parallelo se un componente si guasta ciò non inficia tutta la produzione (a differenza della produzione in linea). Questa disponibilità è spesso chiamata "efficienza".

Tempo medio tra guasti

Viene definito MTBF (mean time between failure) il tempo medio tra guasti per pezzi che possono essere riparati e riutilizzati, e MTTF (mean time to failure) il tempo medio tra guasti per pezzi che devono essere sostituiti.

Quest'ultimo si ricava approssimativamente dividendo l'up time per il numero di guasti verificatisi. Più è trascurabile il tempo totale di riparazione TTR più quest'approssimazione è valida.

Matematicamente corrisponde al valore medio della funzione tempo al guasto τ :

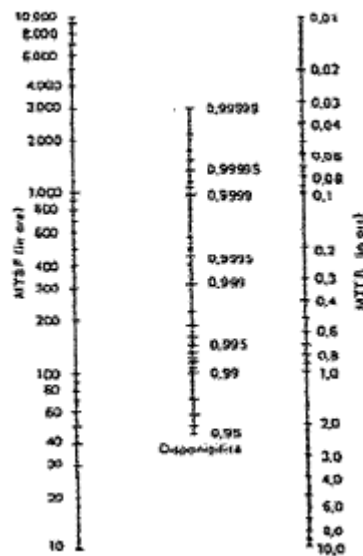
$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

Per i componenti non riparabili il MTTF coincide con la durata di vita che è definita come il periodo di tempo in cui il componente mantiene le sue funzionalità.

Tempo medio di riparazione MTTR

Indica il tempo medio dedicato alle riparazioni, ovvero il down time dell'impianto.

Partendo dal MTBF e dal MTTR è possibile calcolare la disponibilità dell'impianto mediante la tabella allegata:



(prima colonna MTBF, seconda colonna disponibilità, terza colonna MTTR)

2.2 - La funzione di Weibull

La funzione di Weibull (chiamata anche distribuzione di Weibull) permette di calcolare l'affidabilità di un sistema sia nella fase iniziale di mortalità infantile, sia nella vita utile. I due parametri α e β positivi sono stati ricavati mediante prove sperimentali. La funzione di Weibull di presenta nella forma:

$$y(x) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

α : vita caratteristica [tempo];

β : parametro di forma o modulo di Weibull [numero puro], generalmente tra 0,5 e 5.

La fase di vita iniziale della macchina viene descritta con una distribuzione di Weibull della funzione $R(t)$:

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

La percentuale di popolazione che si rompe al tempo t risulta:

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

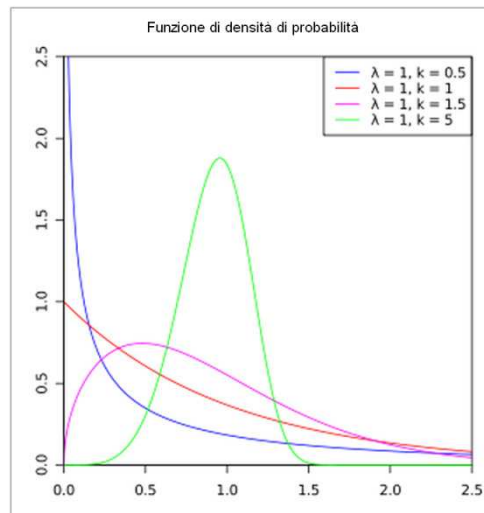
La densità di probabilità di guasto è:

$$f(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$$

Il rateo di guasto condizionato è:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1}$$

La funzione $f(t)$ dipende dal valore di β e assume aspetti ben diversi, come visibile nella seguente figura:



Si presentano tre casi:

- funzione monotona decrescente per $\beta \leq 1$
- funzione crescente e dopo decrescente per $\beta \geq 1$
- funzione Gaussiana non simmetrica per $\beta \geq 3$

3 - Politiche di manutenzione

3.1 - Tipi di politiche di manutenzione

Le politiche di manutenzione (dette anche strategie manutentive) sono il tipo di risposta che coinvolge l'azione manutentiva al manifestarsi di un guasto, di una avaria o di una semplice deriva.

Il guasto, l'avaria o la deriva generano un fabbisogno di manutenzione che l'azione manutentiva consente di risolvere.

Il tipo di politica adottata in risposta al fabbisogno di manutenzione latente o evidente, è di gran lunga il determinante più importante della manutenzione.

Dal tipo di risposta manutentiva adottata per fronteggiare il fabbisogno, dipende in massima parte l'economicità di esercizio del sistema interessato da questi fenomeni. L'economicità del sistema in questione è diretta conseguenza dei costi di mancanza dovuti ai fabbisogni di manutenzione, dei costi per la messa in atto degli interventi di manutenzione, e degli strumenti tecnici e culturali, messi a punto per comprendere e governare i fabbisogni di manutenzione e le conseguenti azioni manutentive (norma UNI 10147).

Le principali politiche manutentive sono:

- la manutenzione incidentale
- la manutenzione preventiva
- la manutenzione predittiva
- la manutenzione migliorativa
- la manutenzione opportunistica
- il Total Productive Maintenance

Non tutti i tipi di manutenzione possono essere applicati o risultano convenienti in ogni impianto.

I motivi che spingono verso l'uno o l'altro tipo sono di natura tecnologica (per aumentare l'affidabilità delle macchine) o di natura economica (calcolare l'ottimo tra curva dei costi della manutenzione e curva delle perdite).

3.2 - Come scegliere che politica manutentiva applicare

Criterio tecnico

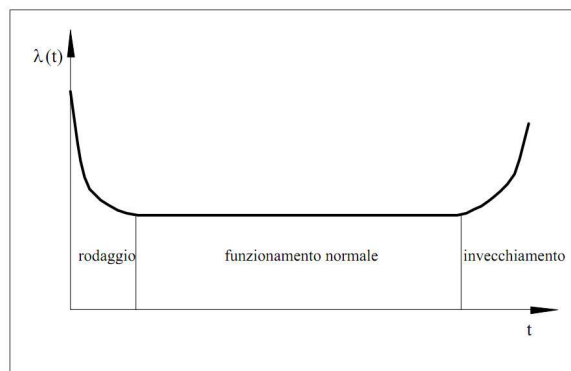
Questo criterio prevede di massimizzare la disponibilità delle macchine per poter aumentare la capacità produttiva e soddisfare tutte le richieste dei clienti. Massimizzare la produzione non comporta una minimizzazione dei costi.

Criterio economico

Per ogni politica manutentiva viene fatto un preventivo dei costi di avvio e di esercizio. In seguito viene scelta quella che offre una soluzione più economica, senza prendere in considerazione la produttività dell'impianto.

Criterio affidabilistico

A seconda della fase nel ciclo vita in cui si trova l'oggetto da mantenere si fanno diverse considerazioni:



* Nella fase di mortalità infantile conviene utilizzare politiche correttive o su condizione, proprio perché i componenti sono soggetti a prove cicliche al fine di selezionare quelli non idonei per il mercato e scartarli prima della commercializzazione.

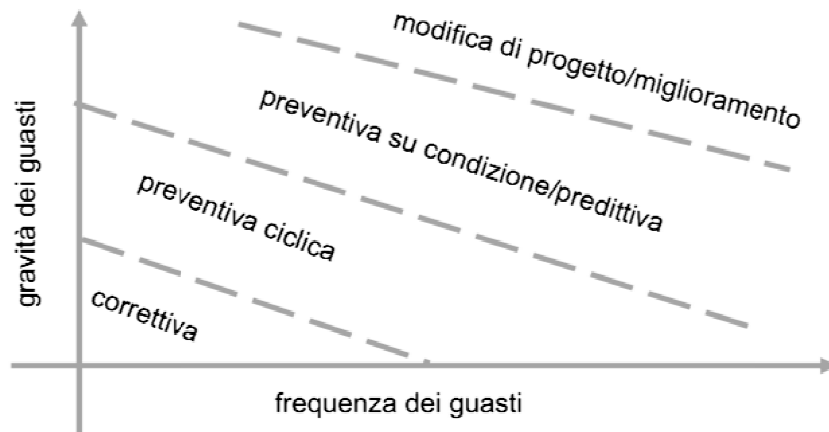
* Nella fase di vita utile conviene utilizzare politiche predittive e migliorative, per prevenire guasti che minerebbero la produttività dell'impianto e consentire così un elevato livello di produzione.

* Nella fase di usura si continuano ad impiegare politiche predittive affiancate da politiche preventive. In questa fase il numero dei guasti aumenta quindi all'occorrenza si usano anche politiche incidentali.

Grafici e schemi

In aggiunta ai criteri precedenti, molti altri fattori hanno un peso rilevante per determinare l'efficacia o meno di una politica manutentiva. Per semplicità sono stati creati dei grafici e delle tabelle guida (empiriche) più o meno specifiche, che aiutano nella scelta.

Ecco un esempio:



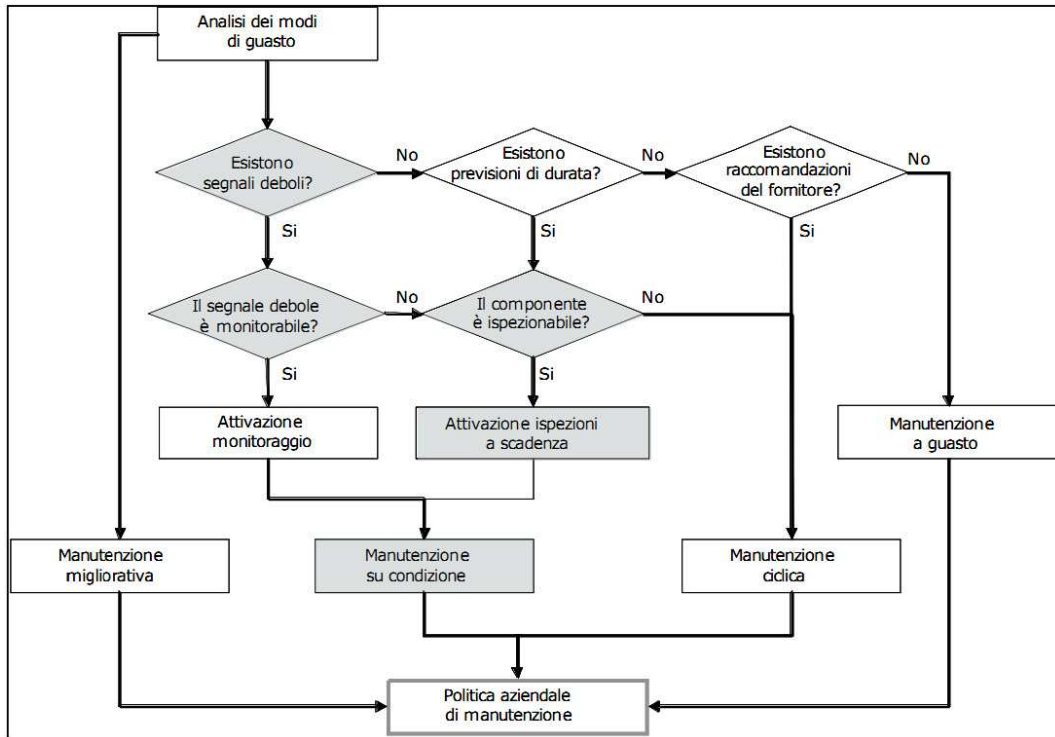
Il grafico precedente mostra la dipendenza della scelta dalla frequenza dei guasti. Più i guasti sono frequenti più serve un intervento preventivo.

Norma UNI 10366

La norma UNI 10366 nel 2007 suggerisce il seguente modello per scegliere il tipo di manutenzione.

I tre aspetti principali sono:

- esistenza di segnali deboli che indicano la presenza di guasti
- possibilità di monitorare o meno il segnale per capire il suo andamento
- eventuali informazioni aggiuntive del fornitore



Indici di manutenzione

Per una valutazione sintetica dello stato della manutenzione possono essere utili degli indici che permettano di valutare l'efficienza e l'efficacia del servizio, delle politiche adottate (anche per confrontare diverse strategie), delle tipologie e delle risorse impiegate.

Un indice è, secondo la norma UNI 10388 (10/94), un rapporto di due dati destinato a:

- rappresentare un evento determinato in modo obiettivo e preciso
- controllare il grado di raggiungimento degli obiettivi
- essere comparato tra unità distinte della stessa impresa o tra imprese o settori diversi

Ci sono indici generali che danno indicazioni sul rapporto tra l'utilizzazione degli impianti (volumi di prodotti) e il costo di manutenzione (esempio spesa annua di manutenzione / fatturato, spesa annua di manutenzione / costo a nuovo degli impianti).

Altri indici sono relativi alla composizione del costo e all'analisi delle giacenze di materiali tecnici, chiamati indici di efficienza (esempio spesa annua per manodopera manutentiva interna / spesa totale, spesa annua per materiali di manutenzione / spesa totale).

3.3 - Approfondimento delle politiche manutentive

3.3.1 - Manutenzione incidentale

La manutenzione incidentale,(o accidentale) un tempo detta anche "manutenzione a guasto", è una politica di manutenzione che prevede un intervento di riparazione, sostituzione o revisione, solo a guasto avvenuto. L'azione manutentiva è quindi subordinata all'attesa del manifestarsi del guasto.

Solo a guasto avvenuto viene preparato ed eseguito un intervento di "ripristino" che riporta la prestazione del sistema al livello che aveva prima del manifestarsi del guasto in un suo componente.

Il fattore positivo è un costo di manutenzione e di fermo macchina pressoché nullo fin tanto che la macchina funziona (run-to-fail strategy).

I fattori negativi possono essere sintetizzati in:

- elevata perdita di ricavi dovuta al fermo macchina per guasto
- imprevedibilità dell'intervento e quindi delle eventuali operazioni di deviazione del flusso produttivo in corso
- elevati costi di riparazione (un componente guasto può danneggiare i componenti correlati quindi bisogna sostituirlo il prima possibile)

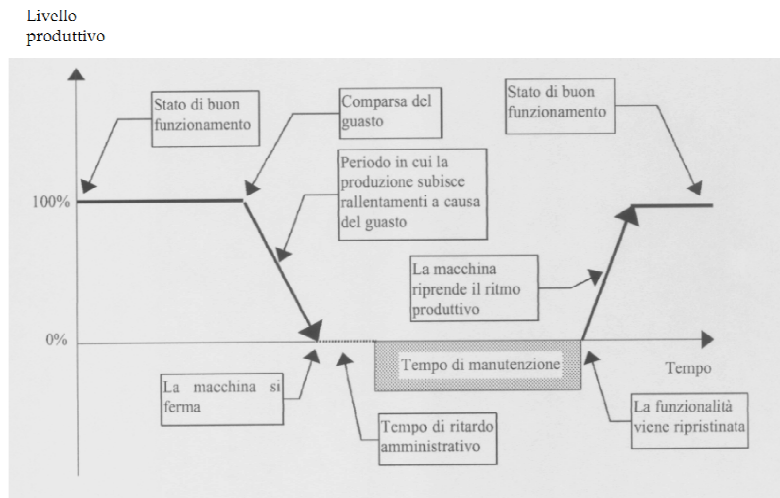
In francese il termine "manutenzione incidentale" assume il significato letteralmente di "manutenzione correttiva", tuttavia nella nostra lingua, si definisce "manutenzione correttiva" l'insieme di azioni manutentive che non concorrono ad aumentare il valore del sistema né a migliorarne le prestazioni, ma semplicemente ripristinano lo *status quo ante*, come avviene sempre per la manutenzione incidentale, ma a rigor di logica, può avvenire anche con la manutenzione preventiva.

Questa politica di manutenzione risulta più efficace nelle linee con buffer in quanto eventuali fermate per la manutenzione sono supportati dai pezzi presenti nei buffer stessi e non si deve fermare l'intera linea.

Cosa serve nella manutenzione incidentale?

- avere una scorta garantita di pezzi di ricambio per poter effettuare la sostituzione il prima possibile e non dover sottostare ai fornitori in caso di necessità
- avere un personale qualificato che ripristini il prima possibile la normale attività di

produzione



In figura le fasi che si verificano durante un guasto

3.3.2 - Manutenzione migliorativa

La manutenzione migliorativa, detta anche *manutenzione proattiva*, è una politica di manutenzione che prevede un intervento di revisione, finalizzato a migliorare il valore o la prestazione di un sistema o di una parte di esso. L'azione manutentiva non è subordinata a malfunzionamenti ma deriva da esigenze di miglioramento espresse sia dall'utilizzatore sia dal manutentore.

Il termine manutenzione migliorativa si contrappone al termine manutenzione correttiva, concettualmente è esattamente l'opposto. Dove per manutenzione correttiva si intendono l'insieme di azioni manutentive che non concorrono ad aumentare il valore del sistema né a migliorarne le prestazioni, ma semplicemente ripristinano lo *status quo ante*.

Nella manutenzione migliorativa, l'azione manutentiva concorre invece ad aumentare il valore del sistema e/o a migliorarne le prestazioni.

Fin da quando il manutentore riceve in carico l'impianto appena installato ed avviato, non smette mai di pensare a dove sia possibile migliorarne la prestazione, in quello che viene anche detto processo di miglioramento continuo o Kaizen.

La qualità delle azioni migliorative e la loro necessità, discende dal fatto che molti mezzi utilizzati dall'industria per produrre sono realizzati a livello prototipale o in piccolissime serie e conseguentemente il progetto di questi sistemi, in genere relativamente complessi, non è

qualitativamente paragonabile con il progetto di sistemi fortemente serializzati (come l'automobile), seppur altrettanto complessi, dove il progetto subisce numerose revisioni ricevendo feed-back dalla messa in opera di un certo numero di prototipi (nell'ordine della decina e fino al centinaio per sistemi che dovranno raggiungere il milione di esemplari).

Per questo, almeno a livello industriale, o in quei settori dove si riscontrano sistemi dalle caratteristiche analoghe (complessità unita a bassissima serializzazione), la Manutenzione migliorativa è veramente importante.

3.3.3 - Manutenzione opportunistica

La Manutenzione opportunistica è una azione manutentiva (migliorativa o correttiva, preventiva o incidentale), realizzata in un periodo nel quale non è richiesta la disponibilità del sistema mantenuto.

L'obiettivo di un'organizzazione, generalmente, è di far tendere la disponibilità operativa dei sistemi (ossia la disponibilità nel periodo dove è richiesto l'utilizzo del sistema) all'unità, ossia non avere se possibile interruzioni nella disponibilità di un sistema durante il periodo nella quale è richiesta (che potrebbe anche essere inferiore alle 24 ore per giorno).

Ad esempio, nell'industria manifatturiera, vi è una certa resistenza da parte della produzione a fermare una linea per far intervenire la manutenzione, tale atteggiamento comporta il rischio che, mantenendo una condizione di avaria, si arrivi ad un danno maggiore del previsto.

Anche quando la linea è sottomessa infine all'azione manutentiva, quest'ultima deve svolgersi nel più breve tempo possibile, con conseguente stress per l'organizzazione manutentiva, la quale deve essere adeguatamente formata e strutturata, condizione che non sempre si verifica.

La manutenzione opportunistica permette di evitare tutto ciò prevedendo l'intervento manutentivo al di fuori di un periodo operativo del sistema. Oppure realizzando l'azione manutentiva contemporaneamente ad una fermata programmata per altre ragioni, ad esempio per un cambio di produzione, o per l'attesa di materiali.

La manutenibilità in quest'ultimo caso gioca un ruolo importante, perché tanto inferiore è il tempo dedicato alla manutenzione, tanto minore è la probabilità che quest'ultima sia completata oltre al termine della fermata.

La manutenzione preventiva favorisce la realizzazione di manutenzioni opportunistiche in

quanto, viceversa, in presenza di un guasto improvviso è molto più difficile operare in senso "opportunistic", a meno che si riesca a coordinare l'intervento con una fermata programmata in tempi brevissimi.

La combinazione di Preventiva ed Opportunistica, è così efficace che spesso, in letteratura, l'opportunistica è contemplata fra le politiche di manutenzione preventive.

Questo genere di classificazione non è però corretta, in quanto la manutenzione opportunistica ha un'origine organizzativa e non è una vera e propria politica di manutenzione, ma piuttosto di una modalità di collaborazione fra manutenzione ed esercizio.

3.3.4 - Total Productive Maintenance – Manutenzione produttiva

In Italia il TPM, Total Productive Maintenance è denominato manutenzione produttiva, ma è più noto nell'acronimo inglese.

Il TPM è un sistema produttivo che mira al raggiungimento della massima efficienza aziendale.

Comprende tutte le persone nell'organizzazione, dall'amministrazione di livello superiore ai meccanici di produzione e gruppi di appoggio della produzione, fino ai fornitori esterni.

L'obiettivo è di migliorare continuamente la disponibilità e impedire la degradazione delle macchine per raggiungere la massima efficienza. Questi obiettivi richiedono un forte appoggio da parte del management come pure un uso continuo di gruppi di lavoro.

Il TPM non è un'idea radicalmente nuova; è semplicemente il punto seguente dentro l'evoluzione di buone pratiche di manutenzione e di produzione. La manutenzione dei beni è maturata da un approccio iniziale "di manutenzione a guasto"; la fase successiva della storia di manutenzione è stata l'implementazione della manutenzione preventiva; la generazione seguente di manutenzione ci porta al TPM.

Nel TPM la manutenzione è riconosciuta come una risorsa di valore.

L'organizzazione della manutenzione ha ora un ruolo nel rendere più proficuo e competitivo il sistema di fabbricazione, migliorando continuamente la capacità produttiva e rendendo la pratica della manutenzione più efficiente.

Per trarre i vantaggi completi il TPM deve applicarsi negli importi adeguati, nelle situazioni adeguate ed è integrato con il sistema di produzione ed altre iniziative di miglioramento.

3.3.4.1 - Cenni storici

È una delle tecniche produttive giapponesi, maturate nel ventennio '60-'80 presso la Toyota Motor Corporation e poi sviluppatesi in tutte le principali aziende giapponesi, grazie alla Plant Maintenance Committee della JMA (Japan Management Association) che, per volere dell'allora Ministero dell'Industria e del Commercio (METI), dal 1961 vi investì le proprie energie e nel 1971 lo presentò come metodologia che estendeva a tutti gli operatori un ruolo nella gestione operativa della manutenzione (da cui il nome Total Productive Maintenance).

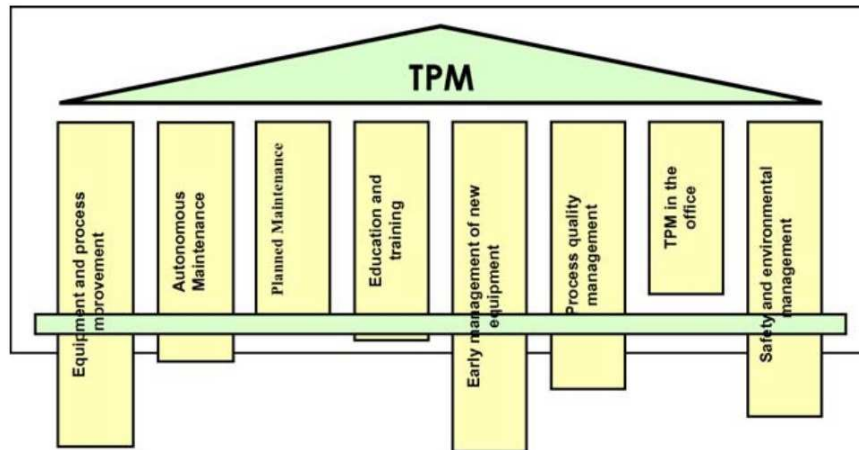
Il "padre" riconosciuto del TPM è Seiichi Nakajima, dapprima direttore tecnico in Toyota e quindi - fino alla fine degli anni ottanta, consulente presso JMA e JIPM. Nakajima si interessò sin dai primi anni cinquanta alle conoscenze sviluppate negli Stati Uniti in tema di manutenzione preventiva, di affidabilità e manutenibilità degli impianti, di life cycle cost ed altro.

Più recentemente - nel 1984, Nakajima venne in Italia in occasione del 1° Congresso Mondiale della Manutenzione, organizzato a Venezia da AIMAN, Associazione Italiana di Manutenzione. Durante il congresso illustrò il TPM fra lo stupore dei presenti. Nel 1998 uscì la prima versione in inglese del suo libro "Introduzione al TPM". Le prime esperienze di TPM in Italia furono fatte dalla FIAT Auto a partire dal 1985, con la RDA (Istituto per la Ricerca e l'Intervento nella Direzione Aziendale) ed il gruppo Telos (oggi Deloitte Consulting).

3.3.4.2 - Componenti principali del TPM

Le fonti differenti forniscono varie descrizioni di che cosa compone il TPM. Alcuni elencano cinque concetti differenti, altri elencano fino a sette concetti differenti. Una possibile suddivisione è la seguente:

- Istruzione e formazione
- Manutenzione autonoma
- Manutenzione preventiva
- Pianificazione e programmazione
- Manutenzione predittiva e ingegneria dell'affidabilità
- Progettazione dell'impianto e gestione all'avvio



I pilastri del TPM

Piuttosto che decidere qual'è l'esatta quantità, i concetti del TPM sono raccolti semplicemente in tre raggruppamenti differenti: manutenzione autonoma, manutenzione programmata e riduzione della manutenzione.

Manutenzione autonoma

L'idea centrale di manutenzione autonoma consiste nell'impiegare gli operatori delle macchine per eseguire alcune delle attività di manutenzione programmata. Queste mansioni comprendono la pulizia quotidiana, l'ispezione, la taratura e la lubrificazione che l'attrezzatura richiede. Poiché gli operatori hanno una familiarità maggiore con la loro attrezzatura più di chiunque altro, possono notare rapidamente tutte le anomalie. L'addestramento richiesto per fare una manutenzione autonoma efficace avviene in parecchie forme: il personale della produzione e della manutenzione sono istruiti sui concetti del TPM e sui vantaggi della manutenzione autonoma; il personale di manutenzione forma gli operatori su come pulire e lubrificare correttamente l'attrezzatura e viene fornito un addestramento speciale di consapevolezza sulla sicurezza per indirizzare le nuove mansioni eseguite dagli operatori.

Implementare la manutenzione autonoma comprende spesso l'uso di comandi visivi. Il controllo visivo è un approccio usato per minimizzare l'addestramento richiesto per imparare le nuove mansioni come pure per semplificare le mansioni di ispezione e riconoscere eventuali anomalie nel minor tempo possibile. Per esempio, i punti di lubrificazione saranno di colore codificato per

abbinare il contenitore che immagazzina il lubrificante adeguato; i bulloni avranno una forma tale da rendere ovvio il loro movimento.

Tutte queste ispezioni sono inoltre documentate su semplici rapporti di controllo che includono una mappa dell'area e dell'appropriato itinerario di ispezione.

Ci si aspetta che gli operatori raccolgano le informazioni quotidiane sullo stato della loro attrezzatura: tempo morto (pianificato e non pianificato), qualità del prodotto (preferibilmente controllo statistico di processo [SPC]), qualsiasi manutenzione che è stata eseguita (stringere i bulloni allentati, aggiunta di fluido refrigerante, ecc.). Queste informazioni sono utili sia all'operatore che al personale di manutenzione per identificare tutti i segnali che l'attrezzatura sta cominciando a degradarsi e può essere necessaria una manutenzione significativa.

Anche se la manutenzione autonoma viene implementata in un gruppo di lavoro ci sono alcune preoccupazioni:

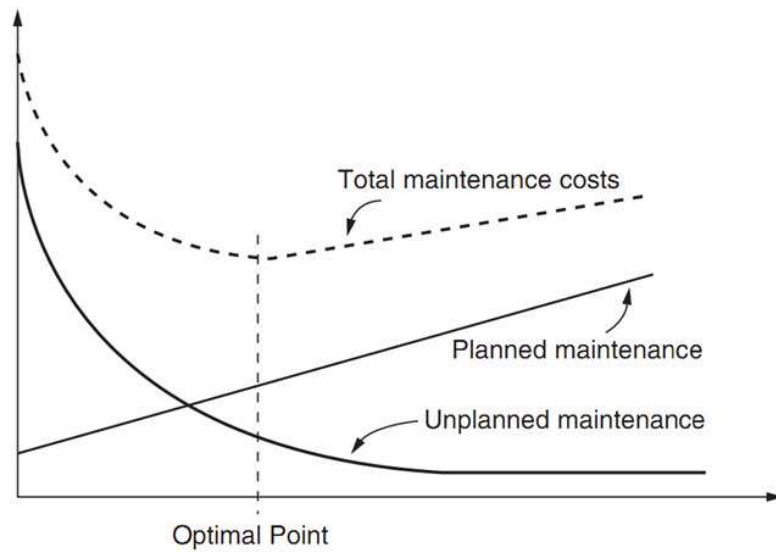
- In primo luogo, viene ora chiesto agli operatori dell'attrezzatura di assumere delle responsabilità supplementari. Queste nuove mansioni devono essere trattate come una priorità dall'amministrazione
- In secondo luogo, viene chiesto al personale di manutenzione di cedere una parte delle responsabilità. Ciò può indurre il personale di manutenzione a preoccuparsi circa la propria sicurezza sul posto di lavoro.
- In terzo luogo, questi cambiamenti nei ruoli e responsabilità devono essere sviluppati con la partecipazione del rappresentante sindacale. In alcuni casi, i contratti sindacali possono costringere o incoraggiare questi cambiamenti nei ruoli.

Manutenzione programmata

Rimuovendo alcuni dei compiti di manutenzione ordinaria attraverso la manutenzione autonoma, il personale di manutenzione può iniziare a lavorare sulla manutenzione proattiva delle apparecchiature. Le attività di manutenzione programmata prevedono dei down-time per eseguire le riparazioni o le sostituzioni nelle attrezzature, considerandole di pari importanza alla produzione stessa.

La teoria prevalente è che se la manutenzione preventiva sale, la manutenzione straordinaria scende, e in totale i costi principali di manutenzione scendono di conseguenza. Il grafico seguente

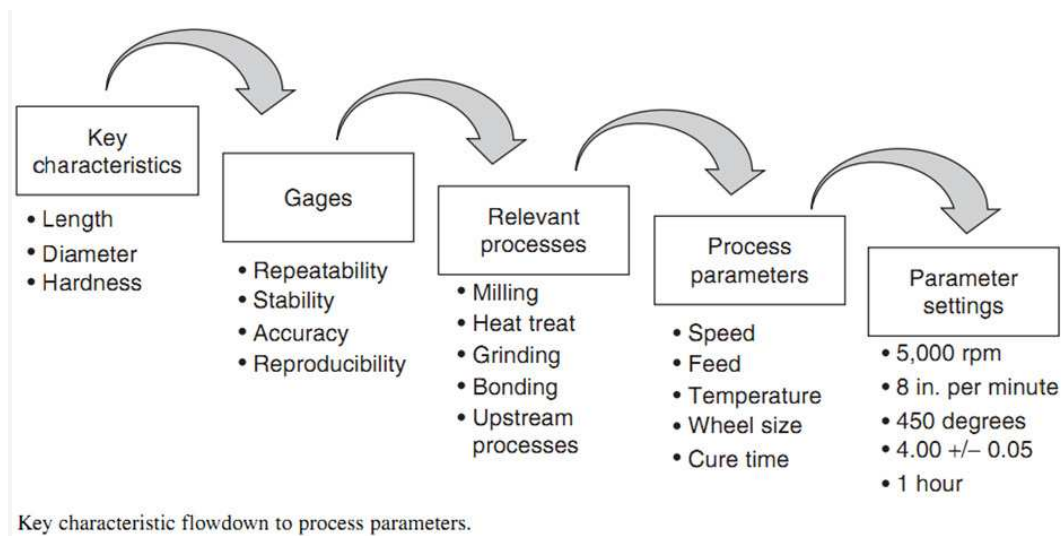
mostra i costi totali della manutenzione.



Trade-off between planned and unplanned maintenance.

La produzione e l'organizzazione della manutenzione, come una squadra, dovrebbero determinare la giusta quantità di manutenzione programmata, in base allo stato delle apparecchiature e al tipo di processo produttivo. L'esecuzione di una quantità eccessiva di manutenzione può essere così costosa, o non abbastanza performante, per cui solo un'attenta analisi indica il punto di equilibrio.

L'esecuzione della manutenzione programmata, in quantità adeguata, richiede una profonda comprensione delle macchine impiegate nella produzione. Questa comprensione ha bisogno di iniziare con i prodotti e le loro caratteristiche fondamentali, e scendere verso il basso attraverso le attrezzature, i loro processi e i parametri di processo. La figura seguente mostra un esempio grafico di come i requisiti critici principali di un prodotto possano essere correlati fino ai parametri del processo di produzione.



Gli studi sulla capacità di processo analizzano la capacità dell'impianto di produrre un consistente numero di pezzi ad alta qualità.

Gli studi sulla capacità della macchina analizzano la capacità dell'impianto di svolgere un insieme specifico di operazioni, e confrontare i risultati con lo standard industriale. Entrambi questi studi, se effettuati su base periodica, possono fornire indicatori che mostrano se la prestazione dell'impianto è in discesa, se inizierà a produrre parti errate, o se si avrà una rottura in un prossimo futuro. Questi dati possono anche essere memorizzati in un database in modo che simili apparecchiature, attrezzature o componenti possano essere analizzati insieme per cercare problemi cronici.

Combinando con attenzione i dati in questo modo si può contribuire a ridurre il problema di prendere decisioni con dati insufficienti.

Riduzione della manutenzione

Il concetto finale di TPM è composto da due concetti, progettazione delle attrezzature e manutenzione predittiva che si impegnano a ridurre l'importo complessivo di manutenzione richiesta. Lavorando con i fornitori delle macchine, la conoscenza che si ottiene nel mantenerle può essere incorporata nella prossima generazione di progetti. Questo approccio di "progettazione per la manutenzione" si usa in impianti più facili da mantenere (facilità nel raggiungere i punti di lubrificazione, l'accesso alle coperture dei punti di ispezione, ecc) e possono essere immediatamente supportati con la manutenzione autonoma.

La comunicazione tra fornitore e cliente può anche essere utilizzata per stabilire i criteri delle performances. Inoltre, il fornitore può essere in grado di fornire dati sui suoi componenti che contribuiranno a determinare la frequenza richiesta di ispezione e di manutenzione programmata. L'altro metodo di ridurre la quantità di manutenzione richiesta è eseguire speciali analisi sulle attrezzature per raccogliere dati che possono essere usati per predire guasti alle apparecchiature. Questo tipo di analisi comprende termografia, ultrasuoni e l'analisi delle vibrazioni, che consentono al tecnico di raccogliere informazioni su quanto sta accadendo all'interno dell'apparecchiatura.

La termografia è utilizzata per rilevare "punti caldi" nell'attrezzatura dove il calore eccessivo può essere correlato a usura dei cuscinetti, scarsa lubrificazione o linee di refrigerante scollegate.

L'analisi ad ultrasuoni viene utilizzata per rilevare cricche minute nelle attrezzature che sono invisibili all'occhio umano. Se queste cricche vengono rilevate in tempo, le riparazioni possono essere effettuate prima che si verifichi un guasto catastrofico.

L'analisi delle vibrazioni viene utilizzata per rilevare le vibrazioni insolite. Con apparecchiature di buone prestazioni si avrà un certo andamento della vibrazione, ed eventuali modifiche in questo andamento possono essere un'indicazione che i componenti interni si consumano o si allentano.

Queste analisi vengono effettuate su base periodica.

Efficacia dell'impianto

Con il termine efficacia dell'impianto spesso si intende solo l'up-time, ovvero il tempo in cui le macchine sono disponibili e stanno producendo. Ma l'efficacia complessiva o la vera efficienza dipende anche dalla sua prestazione e dal suo tasso di qualità. Uno degli obiettivi primari del TPM è quello di massimizzare l'efficacia dell'impianto, riducendo le perdite nel processo produttivo. I tre fattori che determinano l'efficacia sono: la disponibilità dell'impianto, l'efficienza delle prestazioni, e il tasso di qualità.

Tali fatti sono anche utilizzati per calcolare efficienza globale dell'impianto (OEE overall equipment effectiveness).

- Disponibilità dell'impianto

Un buon funzionamento del sistema manifatturiero avrà i macchinari di produzione disponibili per l'uso ogni volta che è necessario. Questo non significa che l'apparecchiatura

deve essere sempre disponibile. Per esempio, in un sistema di produzione sincronizzata c'è poco vantaggio nell'avere le attrezzature in esecuzione quando i prodotti non sono richiesti. Tuttavia, se vi è la necessità di aumentare il tasso di produzione, l'apparecchiatura deve essere in grado di soddisfare l'aumento della domanda. Il programma di gestione delle attrezzature deve trovare un equilibrio tra i costi per mantenere il potenziale utilizzo degli impianti elevato contro i costi di stoccaggio delle scorte eccessive per evitare di perdere opportunità di vendita.

La disponibilità delle apparecchiature è influenzata sia dai down-time programmati che da quelli non programmati. In un buon funzionamento del sistema i tempi di inattività non pianificati vengono minimizzati, mentre il tempo di inattività previsto viene ottimizzato. Si cerca per esempio di far coincidere il tempo per l'inventario con il tempo di manutenzione sfruttando così un'unica fermata per due attività.

La determinazione della giusta quantità di scorte diventa una funzione di quante volte l'apparecchiatura viene fermata sia per riparazioni programmate che per quelle non programmate.

Le cause più comuni della perdita di disponibilità degli impianti sono i guasti imprevisti. Questi fallimenti influenzano il personale di manutenzione (che deve correre per far funzionare l'impianto) e l'operatore delle attrezzature (che spesso deve attendere che le apparecchiature siano riparate per continuare a lavorare). Mantenere a disposizione sistemi di back-up è un modo per minimizzare l'effetto della perdita di disponibilità delle macchine. Tuttavia, questo raramente è l'approccio più conveniente dal momento che richiede l'investimento in beni strumentali che non sarebbero necessari se l'attrezzatura funzionasse in modo più affidabile. Un altro salasso per la disponibilità è il tempo necessario per il riattrezzaggio delle macchine per eseguire diversi prodotti.

- Efficienza delle prestazioni

L'efficienza degli impianti è comunemente usata per valutare un sistema di produzione. E' tipicamente massimizzata utilizzando le attrezzature alla massima velocità, il più a lungo possibile, per aumentare l'output del prodotto. L'efficienza si riduce a causa del tempo speso quando l'impianto è al minimo (in attesa per il carico dei pezzi), il tempo perso a causa di fermate minori (per fare piccoli aggiustamenti per l'attrezzatura), e riduzione della

produzione per l'esecuzione ad una velocità ridotta. Queste perdite di efficienza possono essere il risultato di scarsa abilità dell'operatore, attrezzature usurate o errata progettazione dei sistemi di produzione. Tuttavia, la sola misura dell'efficienza delle attrezzature è in grado di portare a decisioni scadenti. I criteri importanti sono il numero di parti che dovrebbero essere prodotte nell'impianto, non quanti se ne possono produrre se lavora alla velocità massima. Il rendimento obiettivo deve considerare per quanti pezzi è progettato l'impianto, e quante parti sono necessarie per soddisfare le esigenze dei clienti. Quando l'apparecchio è installato e funzionante, dovrebbe poter funzionare alla velocità di progetto. Ma quando non sono richiesti pezzi, può essere conveniente spegnere l'impianto e sfruttare tale down-time per effettuare attività manutentive piuttosto che rallentare la velocità e sfruttare meno la potenzialità.

- Tasso di qualità

Lo scopo del sistema produttivo è quello di ottenere prodotti utili. Se l'impianto viene utilizzato fino a che non può più produrre parti accettabili, la cosa migliore da fare è spegnerlo per conservare l'energia e le materie prime, e ripararlo. Perdite di qualità comprendono anche il tempo perso per lunghi periodi di riscaldamento o in attesa che altri parametri di processo si stabilizzino. Lo sforzo di migliorare il tasso di qualità deve essere ricollegato ai requisiti critici del prodotto.

3.3.4.3 - Metriche TPM

La raccolta dei dati è un prerequisito per avviare un programma TPM. Una volta che l'organizzazione ha deciso che il TPM è appropriato per la propria situazione attuale, ci sono ulteriori requisiti per la raccolta dei dati inerenti al TPM.

Efficacia complessiva dell'impianto

Il concetto di Overall Equipment Effectiveness (OEE) è incluso in quasi tutta la letteratura sul TPM. L'OEE è calcolato moltiplicando la disponibilità delle attrezzature, l'efficienza delle prestazioni e il tasso di qualità che sono stati precedentemente descritti. I dati necessari per determinare questi valori sono i tempi di inattività programmati, i tempi di inattività non programmati, e l'output (pezzi buoni e cattivi), che vengono raccolti da parte degli operatori su base giornaliera.

La stesura di carte di controllo sulla disponibilità dell'impianto, l'efficienza delle prestazioni, la qualità e la velocità fornisce dati aggregati che sono utili per il monitoraggio di eventuali cambiamenti nelle prestazioni delle macchine.

L'OEE dà un criterio utile per tracciare i progressi e i miglioramenti del programma TPM; ma non dà dettagli sufficienti per determinare perché l'apparecchiatura è migliore o peggiore. Per esempio, OEE riflette un calo nella qualità del prodotto, ma non vi dirà nulla sul perché questa è in diminuzione, o che cosa può essere fatto per risolvere il problema. Per determinare la causa degli eventi osservati, sono richiesti più dati.

Raccolta di dati supplementari

Questi dati supplementari sono più utili per la soluzione di problemi e il processo decisionale piuttosto che la misura dell'OEE.

I dati statistici di controllo di processo, raccolti sulle caratteristiche critiche dei prodotti, sono in grado di fornire feedback per gli operatori dell'impianto per la ripetibilità delle operazioni delle attrezzature specifiche. Se il processo va fuori controllo, i dati SPC dovrebbe immediatamente trasmettere queste informazioni all'operatore.

Ad esempio, un estensimetro può essere montato sul mandrino di una fresatrice. Più la fresa si consuma, più forza è necessaria per mantenere la velocità stabilita e la velocità di avanzamento, che viene registrata da questo estensimetro. I dati storici sulle letture delle deformazioni e la correlata parte di qualità possono essere usati per determinare le soglie che definiscono l'usura consentita prima che l'utensile debba essere sostituito. Questo approccio è il monitoraggio continuo e la manutenzione predittiva viene eseguita solo periodicamente.

La raccolta di dati SPC su parametri critici di processo come alimentazione, velocità, temperatura e tempo è un altro passo avanti verso la misurazione del processo. Questo approccio richiede in primo luogo di individuare i parametri di processo critici (quelli che riguardano le caratteristiche critiche del prodotto), poi determinare le loro impostazioni ottimali. Questo può essere realizzato utilizzando tecniche DOE. Una volta che i parametri critici sono stabiliti, gli operatori possono raccogliere i dati o utilizzare il monitoraggio continuo per tenere traccia delle prestazioni del parametro.

Per l'analisi SPC delle attrezzature e dei parametri di processo, può essere necessario ricorrere a

speciali metodi di "breve periodo" a causa della limitata quantità di dati. Inoltre, un metodo efficace per il monitoraggio dei parametri sono le regole della Western Electric per le carte di controllo.

Queste regole stabiliscono che un processo deve essere considerato fuori controllo quando una delle seguenti voci viene rilevata nelle carte di controllo:

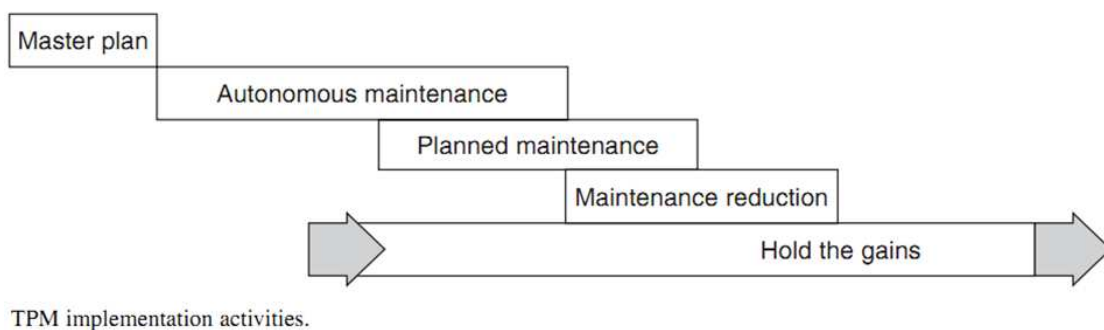
- Un punto è più di tre deviazioni standard dalla media del processo
- Due su tre punti sono almeno due deviazioni standard dalla media del processo
- Quattro su cinque punti sono almeno una deviazione standard dalla media del processo
- Otto punti in fila si trovano sullo stesso lato del processo di media

La continua misurazione del processo deve trovare un equilibrio tra fornire dati che sono troppo aggregati per essere utili, e fornire tanti dati che nessuno ha tempo per analizzare.

3.3.4.4 - Implementazione del TPM

Il grafico in figura descrive le principali attività che compongono la maggior parte dello sforzo di implementazione del TPM. Il piano di implementazioni impiega circa 3 a 5 anni per essere completato.

Quella che segue è una breve descrizione di ciascuna delle attività di implementazione del TPM:



Master Plan

Il team del TPM, insieme con la produzione, la gestione della manutenzione ed i rappresentanti sindacali determina l'ambito / focus del programma TPM. Le attrezzature selezionate e la loro sequenza di attuazione sono determinate in questa fase. Vengono raccolti dati relativi alle

prestazioni di base e si stabiliscono gli obiettivi del programma.

Manutenzione autonoma

Il team viene addestrato nei metodi e negli strumenti del TPM e nei controlli visivi. Gli operatori dell'impianto si assumono la responsabilità per la pulizia e l'ispezione delle loro attrezzature e svolgono attività di manutenzione di base. Il personale addetto alla manutenzione addestra gli operatori su come eseguire la manutenzione principale di routine, e tutti sono coinvolti nello sviluppo delle procedure di sicurezza. Gli operatori iniziano a raccogliere i dati per determinare le prestazioni dell'impianto (misure TPM).

Manutenzione Programmata

Il personale di manutenzione raccoglie e analizza i dati per determinare la necessità di manutenzione. Si crea un sistema per il monitoraggio delle prestazioni e delle attività di manutenzione (se al momento non ve ne è uno disponibile). Inoltre, i programmi di manutenzione sono integrati nel programma di produzione per evitare conflitti nella pianificazione.

Riduzione della manutenzione

Quando tutti i dati sono raccolti, le informazioni ottenute vengono integrate nella successiva generazione di progetti nell'ottica "design for maintenance". Il personale di manutenzione sviluppa anche piani e programmi per l'esecuzione di analisi periodiche (termografia, analisi olio, ecc.) Questa analisi dei dati è inoltre inserita nel database di manutenzione per sviluppare stime accurate delle performance e le esigenze di riparazione. L'integrazione è estesa alla gestione globale, in modo da evitare richieste ridondanti o conflittuali e ridurre al minimo lo sforzo richiesto per sostenere il TPM.

Per riassumere

Una semplice analogia per descrivere l'approccio TPM è quello di considerare le attività del proprietario dell'auto media. Il proprietario (operatore dei macchinari) svolge attività di piccola manutenzione come il controllo della benzina, il controllo della pressione nella gomme ecc. Tuttavia, se qualcosa di importante va storto, si chiama un esperto meccanico (tecnico di

manutenzione) per svolgere i compiti difficili. Collegandosi a questo esempio, è importante dire che le organizzazioni più tradizionali trattano le loro attrezzature come se fossero una macchina a noleggio.

Il TPM è spesso implementato come una attività di miglioramento che funziona isolata. Tuttavia solo l'interazione tra diversi ambiti può portare a un vero beneficio economico.

"L'impianto di produzione è come la gallina dalle uova d'oro. Se si vuole continuare a ricevere le uova d'oro, c'è bisogno di prendersi cura della gallina".

3.3.4.5 - Barriere comuni riscontrate

Ciascuno dei programmi TPM sopra descritti ha avuto la sua parte di problemi e contrattempi.

Sebbene alcuni di questi sono specifici per un sito particolare, molte delle barriere che sono state riscontrate sono comuni a molti dei programmi TPM.

Direzione Strategica

Forse la sfida più significativa per il successo del TPM è la mancanza di direzione strategica. La direzione decide di attuare un unico piano TPM. Di conseguenza deve o cercare una precedente installazione del TPM, o partire da zero per creare il suo piano di implementazione.

Uno degli svantaggi di questa situazione è che il programma TPM tende ad essere "proprietà" di uno o due individui all'interno dell'organizzazione. Se questi individui lasciano il gruppo, si riscontra un graduale declino della direzione e del supporto. Il risultato finale di questi programmi diversi è che le informazioni, gli strumenti e i dati non possono essere condivisi tra tutti i programmi separati.

Priorità data al TPM

La maggior parte delle cellule di produzione vede ancora il TPM come un problema di manutenzione, piuttosto che come una questione legata alla produzione. Questa osservazione è supportata dal fatto che la maggior parte degli addetti sono o di manutenzione TPM o di formazione del personale. Questa situazione può essere amplificata dal fatto che la manutenzione dell'organizzazione è completamente separata dalla struttura produttiva. Questi due gruppi non si riferiscono alla stessa organizzazione, di conseguenza si elimina essenzialmente un incentivo per i

dirigenti di entrambe le organizzazioni di unire le loro risorse per raggiungere un programma TPM di successo. La prova di questa barriera è fornita dalla notevole mancanza di obiettivi TPM e misure nei piani economici e produttivi.

Processi in conflitto

In qualsiasi momento, quasi ogni cella di produzione è impegnata nell'attuare dei miglioramenti al nuovo processo di fabbricazione. Alla fine, alcuni dei progetti hanno successo, altri si annullano, e altri semplicemente vengono ignorati. A meno che tutte le attività all'interno dell'organizzazione siano documentate e ordinate per priorità, l'aggiunta di un altro processo, come il TPM semplicemente forzerà qualche altro progetto a "cedere il suo posto". Nessuna organizzazione ha budget illimitato, tempo, e persone per consentirle di attuare ogni buona idea che viene avanti. Siccome ci si aspetta che i responsabili della produzione e della manutenzione attuino processi aggiuntivi, questi devono sviluppare dei metodi di priorità. Un passo importante in questa priorità, che spesso viene trascurato, è una valutazione del processo di integrazione possibile, che può essere raggiunto. Piuttosto che forzare i processi a competere per le risorse, processi diversi possono essere combinati in un unico processo coeso che viene attuato nel corso di un arco di tempo più lungo.

Disponibilità dei dati

Molti degli sforzi per attuare il TPM sono stati frustrati dalla mancanza di dati affidabili da utilizzare nella pianificazione. Gli attuali metodi di raccolta dei dati non sottolineano i benefici che possono essere raggiunti dal monitorare con estrema precisione le prestazioni delle apparecchiature. Senza questi dati, è molto difficile determinare la relazione tra le prestazioni delle apparecchiature, la qualità del prodotto, e i costi di produzione. I dati che vengono raccolti spesso non sono utilizzati né verificati. Il risultato finale è che ci sono alcuni dati disponibili, ma possono essere di scarsa qualità, e non sono raccolti in un modo che ne permette una facile analisi. Senza dati affidabili, l'organizzazione non può sviluppare piani di priorità precisi e nemmeno quantificare i benefici ricevuti dal programma TPM.

3.3.4.6 – Fattori di successo e strumenti

Come ci si può aspettare, molti dei fattori che hanno portato a programmi TPM di successo riguardano l'eliminazione delle barriere. Tuttavia, ci sono alcune attività aggiuntive che sembrano essere comuni ai programmi TPM di maggior successo. Per programmi di successo si intende quei programmi che hanno sviluppato piani di attuazione, seguito questi piani e ne hanno realizzato i benefici attesi. Alcuni di questi programmi puntano a obiettivi meno ambiziosi.

Supporto per la gestione

I piani di implementazione del TPM che si sono diffusi con successo in genere hanno avuto il beneficio di un team di supporto di grande aiuto. Ciò significa che il management ha fatto più che permettere al TPM di realizzarsi, era in realtà una parte della forza motrice dietro l'attuazione dello stesso. L'attività di gestione comprende premi di gruppo per la manutenzione proattiva, la revisione dei piani aziendali per includere gli obiettivi del TPM, consentendo ai lavoratori di produzione di frequentare corsi di formazione, e la comunicazione degli obiettivi TPM all'intera organizzazione. Avendo il pieno supporto del management, il programma TPM non deve morire, se il coordinatore del TPM si trasferisce in un'altra organizzazione.

Approccio mirato

Un aspetto molto importante è elencare per priorità le varie attività da svolgere per poter attuare il TPM e riconoscere anche i limiti della propria azienda. Le organizzazioni che hanno sviluppato un master plan chiaro che indicasse tutti i passaggi per passare al TPM hanno fatto più progressi rispetto quelle aziende che non sono riuscite a tracciare un piano mirato. Non si devono seguire approcci casuali ed evitare che diverse sezioni vadano in conflitto.

Consapevolezza dell'operatore

Sebbene la gestione deve assumere un ruolo guida nella realizzazione del TPM, questa deve anche permettere agli operatori delle attrezzature di assumere un ruolo di primo piano nello sviluppo e nella realizzazione del TPM. Uno dei concetti fondamentali del TPM è incoraggiare gli operatori ad assumere maggiori responsabilità e autorità per le decisioni che incidono sulle loro attrezzature. Se l'operatore è staccato dal programma TPM, è estremamente difficile ottenere

un'ispezione proattiva. Il vantaggio di coinvolgere profondamente l'operatore è che la persona che gestisce ogni giorno le macchine può fornire un contributo alla pianificazione. Il raggiungimento della consapevolezza da parte dell'operatore richiede il suo coinvolgimento iniziale, in modo che possa sentire un senso di appartenenza alla realizzazione del team per il TPM.

Addestramento Just-In-Time

Una formazione realizzata troppo in fretta è quasi inefficace quanto una formazione che viene realizzata troppo tardi. Se gli individui sono addestrati immediatamente prima della loro pratica sul campo si ha la possibilità di rafforzare l'apprendimento teorico e ottenere un feedback diretto e immediato. Questo approccio di formazione just in time (JIT) riduce anche l'impatto dell'intensa formazione richiesta dal TPM. Dal momento che la formazione è strutturata a piccole dosi per un lungo periodo di tempo, risulta compatibile con il programma di produzione.

Processi integrati e Orari

In un impianto si possono creare numerosi conflitti se non si riescono ad integrare le diverse attività. L'elemento che viene spesso trascurato è l'attività di pianificazione. Molte organizzazioni utilizzano sistemi di programmazione completamente isolati per il loro programma di produzione e il loro programma di manutenzione. In questa situazione, ogni attività di manutenzione preventiva deve essere programmata da due organizzazioni per raggiungere un compromesso su quando fermare le attrezzature per la manutenzione. Integrando tutte le entità che richiedono l'accesso alle apparecchiature di produzione, l'organizzazione può evitare i conflitti che sorgono su chi ha la massima priorità per le attrezzature. Infatti anche altri gruppi oltre la produzione e la manutenzione possono richiedere accesso al materiale per eseguire test (controllo qualità per esempio), o per eseguire prototipi (Ricerca e Sviluppo).

Rappresentanze sindacali

Ultimo, ma certamente non meno importante, è avere rappresentanti sindacali dei dipendenti coinvolti nella programmazione per l'implementazione del TPM. L'introduzione della manutenzione autonoma comporta quasi sempre la migrazione delle responsabilità dai tecnici di

manutenzione agli operatori delle attrezzature. E' ridicolo aspettare finché un dipendente presenta una lamentela attraverso queste organizzazioni. Il sindacato non deve essere trattato come un avversario. La storia ha dimostrato che la collaborazione può supportare considerevolmente i concetti del TPM, dal momento che i dipendenti acquisiscono competenze aggiuntive che li rendono un valore aggiunto prezioso per l'azienda. Il TPM può essere efficacemente utilizzato per creare un ambiente di lavoro polivalente, che solitamente migliora la sicurezza dei dipendenti sul posto di lavoro.

3.3.4.7 – Raccomandazioni per il miglioramento

Vengono di seguito riportati dei consigli per migliorare ulteriormente il TPM.

Decisioni guidate dai dati

Le attività di livello più basso hanno bisogno di sviluppare semplici metodi di raccolta dati per raccogliere informazioni che possono immediatamente essere utilizzate dai dipendenti della fabbrica. Questo include sia dati qualitativi che quantitativi. Inoltre, all'inizio di ogni attività di miglioramento dovrebbe essere istituito un piano di raccolta dati, prima di attuare qualsiasi cambiamento nei luoghi di lavoro, in modo che i risultati del cambiamento possibile possano essere quantificati successivamente.

Impatto sulle Organizzazioni

La maggior parte delle organizzazioni che implementano nuovi processi non riesce a identificare pienamente le modifiche necessarie nella cultura dell'organizzazione. Parte della pianificazione e dell'attuazione dovrebbe essere dedicata esplicitamente all'individuazione delle modifiche organizzative necessarie. Questo include i ruoli attuali e futuri e le responsabilità connesse alle modifiche di processo proposte. Al fine di rendere il cambiamento una morbida transizione, la direzione deve comunicare quali cambiamenti eseguire e fornire un'adeguata formazione a chi direttamente interessato.

Come viene considerato il TPM

In molte organizzazioni, il TPM è tuttora considerato un problema legato alla sola manutenzione degli impianti piuttosto che una questione inerente la produzione. La soluzione a questo dilemma è quella di legare insieme le due strutture organizzative, gli obiettivi e le ricompense. Ad esempio, la manutenzione di solito non ha obiettivi legati alla qualità del prodotto, e la produzione non ha obiettivi relativi alla performance degli impianti. Se entrambe le attività stanno lavorando per massimizzare l'efficienza globale degli impianti, dovrebbero essere incoraggiate a lavorare insieme e supportare i bisogni reciproci. Un'altra barriera che deve essere affrontata è la reazione dei dipendenti al cambiamento: di solito non lo amano. Questo è spesso il risultato di una scarsa comunicazione e formazione, che porta alla paura dell'ignoto, non necessariamente una resistenza al cambiamento.

3.3.4.8 – Descrizione dettagliata del TPM

Obiettivi del TPM

Gli obiettivi ideali del TPM sono il raggiungimento di:

- zero fallimenti
- zero difetti
- zero incidenti

Anche se questi obiettivi sono estremamente difficili da raggiungere, e in molti casi non può essere economicamente fattibile a causa di un alto costo per eliminare tutti i fallimenti, i difetti e gli incidenti, essi forniscono un obiettivo direzionale che l'organizzazione può perseguire. Per avvicinarsi a questi obiettivi, il TPM fornisce i mezzi per aumentare la quantità di tempo che un pezzo dell'impianto è disponibile e affidabile per l'utilizzo nella produzione. Questo richiede uno sforzo significativo per ridurre il degrado delle attrezzature che possono portare a guasti delle apparecchiature o ad una variazione nei pezzi prodotti.

Inoltre, il TPM fornisce all'operatore maggiore consapevolezza, senso di appartenenza, e responsabilità per gli impianti di produzione. L'attuazione del TPM non deve essere vista come una correzione per problemi di produzione a breve termine. La piena implementazione di un programma TPM richiede solitamente da 3 a 5 anni. Quindi la sua realizzazione richiede

un'attenta analisi dei costi delle apparecchiature per l'intero ciclo di vita. I costi includono costi di acquisizione, costi operativi, costi di manutenzione e costi di trasformazione/demolizione. Ognuno di questi costi può essere ulteriormente suddiviso. Ad esempio, i costi di manutenzione contengono i costi delle riparazioni, il costo del lavoro di manutenzione, il costo del lavoro dell'operatore (in caso di problemi) e costi delle parti delle attrezzature nell'impianto.

Eliminare le perdite di processo

Per aiutare a concentrare gli sforzi di miglioramento, è spesso utile classificare o raggruppare i problemi che l'impianto sta affrontando. Pensare in termini di produzione, sistema di perdite e raggruppamento dei problemi (basato sulla causa di queste perdite) aiuta a esternare le fonti comuni di tali problemi. Tuttavia, per eliminare i problemi cronici che stanno riducendo le prestazioni delle apparecchiature bisogna seguire i problemi fino alla loro causa principale. Le perdite di processo sono così raggruppate:

- Perdite dovute a down-time

Le perdite del sistema di produzione che rientrano in questo gruppo sono il risultato della temporanea mancanza di disponibilità dei macchinari per la produzione. Queste perdite possono essere suddivise in due categorie: guasti e riattrezzaggi/migliorie. Guasti sporadici, che sono improvvisi o drammatici, di solito sono evidenti e facili da correggere. Tuttavia, piccoli guasti frequenti o cronici sono spesso ignorati o trascurati dopo ripetuti tentativi falliti per provare a risolverli. Per massimizzare l'efficacia delle macchine, bisogna ridurre il più possibile i guasti. Questo obiettivo può essere ottenuto mediante una sostituzione tempestiva delle parti usurate durante la manutenzione programmata. E' quasi sempre più conveniente sostituire una parte discutibile piuttosto che consentire la sua rottura e fermare l'impianto (la sostituzione comporterà dei down-time per la regolazione dei nuovi componenti).

Quando la produzione di un elemento finisce la macchina viene modificata per soddisfare i requisiti di un altro pezzo. Installazione può essere notevolmente ridotta facendo una chiara distinzione tra tempi di allestimento interno (operazioni che devono essere eseguite mentre la macchina è ferma) ed i tempi di set-up esterno (operazioni che possono essere

eseguite mentre la macchina è ancora in esecuzione). Utilizzare macchine multi-utensili permette di effettuare diverse lavorazioni senza dover spostare i pezzi su diverse macchine o fermare la produzione per i set-up.

- Perdite dovute per scarse prestazioni

Questa categoria si concentra sull'utilizzo delle apparecchiature a velocità inferiore rispetto la velocità massima. Abbiamo due sottocategorie: velocità ridotta e “minimo” o fermate minori.

Se la velocità massima di esercizio di un apparecchio scende al di sotto della velocità di progetto originale, siamo in perdita, poiché non riusciamo a produrre la quantità di pezzi richiesta. Questo può verificarsi a causa di un utilizzo errato delle macchine o per operatori demotivati per perplessità riguardo al processo produttivo. Un impianto ben mantenuto e un processo di produzione affidabili aiutano a minimizzare entrambi questi problemi.

“Minimo” e fermate minori si riferiscono a brevi interruzioni nella lavorazione. Queste interruzioni generalmente derivano dalla necessità di qualche piccolo aggiustamento, come stringere un bullone. La risoluzione di una fermata minore può richiedere la correzione di un piccolo problema, esempio se si inceppa una macchina. La differenza tra queste fermate minori e la rottura delle attrezzature è tipicamente una funzione del tempo e della gravità. Il “minimo” e le fermate minori possono essere corretti velocemente, spesso senza spegnere completamente l'apparecchio; le rotture sono associate a problemi di grandi dimensioni o addirittura catastrofici .

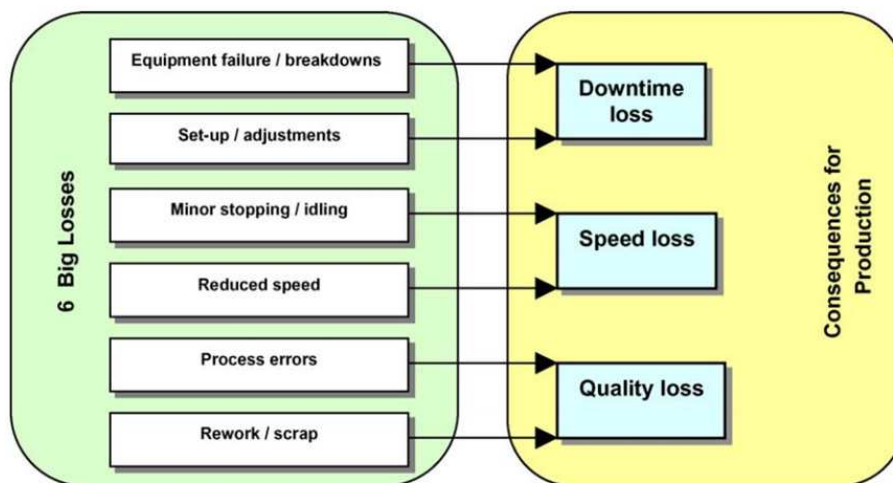
- Perdite a causa di scarsa qualità

Solo perché l'apparecchiatura è in esecuzione, e funzionante a pieno regime, non garantisce che stia producendo un prodotto soddisfacente. Se l'output non è utilizzabile, la macchina può anche essere spenta per risparmiare energia. Le perdite che derivano dalla produzione di prodotti di scarsa qualità sono separate in due classificazioni: difetti di produzione e perdite di avvio.

I difetti di produzione sono spesso generati da difetti nel processo relativo alle prestazioni delle macchine. Il modo per migliorare la qualità in questi casi è quello di eliminare la causa principale della perdita, migliorando le attrezzature. Questi difetti di processo

includono problemi di produzione sia cronici sia sporadici, che si traducono in parti non accettabili e devono essere rielaborate.

Le perdite di avvio sono causate da una resa inferiore dovuta ad un periodo speso per stabilizzare la macchina. Più tempo impiega la macchina per stabilizzarsi, maggiore è la quantità di output inutilizzabile. Esempi di questa situazione includono la produzione di prodotti inaccettabili, o una riduzione della produzione, durante il tempo necessario per raggiungere la temperatura o la velocità di funzionamento. Riducendo il tempo necessario per raggiungere i parametri necessari si minimizza la quantità di perdite di avvio.



The sources of losses according to TPM method.

3.3.4.9 – Vantaggi del TPM

Quando si affronta la decisione o meno di attuare un programma TPM, una buona domanda da porsi è:

Quali sono i vantaggi che ne ricavo?

La risposta è che il TPM aiuta a ridurre i costi di produzione!

Naturalmente, la quantità effettiva di riduzione dei costi dipenderà in larga misura dallo stato attuale del sistema produttivo e dal tipo di processo di produzione. Se l'attrezzatura sta già dando buoni risultati, l'organizzazione può essere messa meglio a fuoco su altre opportunità per migliorare il sistema di produzione (ad esempio, la riduzione delle scorte, le tipologie di formazione dei dipendenti, la riduzione dei tempi di ciclo, ecc). Anche se il TPM ha dimostrato di

produrre benefici straordinari per molte aziende, ogni impianto deve valutare attentamente la propria situazione attuale per determinare se il proprio sistema di produzione può essere idoneo. Infatti l'attuazione del TPM non è gratuita, ma richiede una formazione, nuove procedure di raccolta dati e un cambiamento dei ruoli e delle responsabilità; i vantaggi sono stati documentati in molte industrie. Questi vantaggi vengono raggiunti attraverso l'affidabilità dei macchinari e sul loro migliore utilizzo, riduzione dell'incertezza delle attrezzature a causa di usura, e meno manutenzione "a guasto". Inoltre, il maggiore disponibilità delle apparecchiature permette anche di rinviare l'acquisto di attrezzature supplementari per soddisfare un aumento della domanda di produzione. Molte aziende hanno dimostrato che l'incremento delle attività di manutenzione programmata (manutenzione preventiva) ridurrà drasticamente la manutenzione non programmata (riparazioni a guasto), e che il costi di manutenzione totale diminuiranno tanto quanto la manutenzione programmata sostituirà i guasti imprevisti. L'incentivo a ridurre questi costi di manutenzione è motivato dalla constatazione che i costi di manutenzione sono normalmente dal 15 al 40% del costo del venduto. L'organizzazione deve determinare i costi sostenuti per i guasti e bilanciarli contro i costi per evitare tali guasti al fine di identificare la quantità ottimale di manutenzione preventiva. Nel tentativo di identificare il giusto mix di manutenzione, alcune società hanno stimato che il costo medio di guasto delle apparecchiature è quattro volte maggiore del costo della riparazione. In questo caso, sarebbe più conveniente consentire all'attrezzatura di rompersi una volta che effettuare quattro volte una manutenzione preventiva.

Variabilità ridotta

La variabilità in un sistema di produzione si presenta in molte forme: variabilità hardware, la variazione delle scorte, e così via. In molti casi il TPM può efficacemente ridurre le fonti di queste variazioni, la frequenza con cui si verificano e migliorare la robustezza del sistema produttivo.

Tracciare le relazioni tra caratteristiche del prodotto e parametri di processo non è un compito semplice. Il primo passo in questa attività è quello di determinare quali funzionalità del prodotto sono più importanti per soddisfare le esigenze del cliente. Da questo punto, le tecniche DOE (design of experiment) possono essere impiegate per identificare i parametri di processo che hanno il maggiore impatto su queste caratteristiche chiave e producono i prodotti migliori. Una

volta che questi parametri sono stati determinati, possono essere monitorati dall'operatore utilizzando carte di controllo SPC (statistic process control). Se si osserva un'anomalia nei dati SPC, l'operatore sa che la parte di produzione che ne deriva non può essere accettabile e richiede ulteriori indagini. Inoltre, questi parametri di processo devono essere allineati con l'obiettivo della manutenzione che ha un impatto diretto sulla loro stabilità. Per esempio, se un utensile da taglio macchina non può raggiungere la velocità operativa ottimale, può essere causa di eccessiva usura dei cuscinetti a causa della scarsa lubrificazione. Migliorare l'affidabilità delle apparecchiature, mediante l'attuazione del TPM, riduce la variabilità dei dati prodotti. Guasti sporadici e riparazioni impreviste sono tra le principali cause di fluttuazioni nella velocità. L'implementazione del TPM ridurrà al minimo tali problemi di affidabilità nelle attrezzature. Un programma TPM efficace permette all'apparecchiatura di funzionare a piena velocità quando necessario, con il tempo di inattività per la sola manutenzione programmata. Tuttavia, è importante ricordare, solo perché l'impianto può funzionare a pieno regime 24 ore al giorno, non significa che debba lavorare così duramente. Avere tassi di utilizzo più elevati possibile significa che l'organizzazione non più ha bisogno di conservare scorte in eccesso, o di lavoro straordinario eccessivo, per coprire le fluttuazioni della domanda dei clienti. Le macchine produttive possono semplicemente salire ad un livello di lavoro più elevato quando è necessario. Questa extra capacità produttiva deriva dall'aver meno guasti e una manutenzione non programmata, rendendo le apparecchiature in grado di funzionare alla velocità massima di progetto. Le aziende che hanno implementato con successo il TPM hanno visto una riduzione dei guasti fino a un 80-90%, un calo dei difetti del 55% e un aumento della puntualità delle consegne dal 50 al 95%. Non si può pretendere che l'attuazione del TPM porti vantaggi di tali entità in tutti gli impianti in cui viene applicato. E' comunque indiscusso che ha delle potenzialità enormi.

Aumento della produttività

Dato che i tempi di inattività sono ridotti, si può dedicare più tempo ad attività per dare un valore aggiunto ai prodotti. Il TPM stabilisce i processi e le metriche che focalizzano l'attenzione per ridurre al minimo le attività che non danno valore aggiunto. Il risultante aumento della produttività non vale solo per le attrezzature, ma per le persone che lavorano nel sistema di fabbricazione.

Gli addetti alla produzione non sono più costretti ad aspettare mentre le loro macchine vengono riparate e il personale di manutenzione non deve più rimandare la manutenzione programmata e l'analisi delle attrezzature, mentre si opera per sistemare le attrezzature guaste. Un programma TPM efficace stabilisce anche i processi per la sostituzione delle attrezzature del set-up per consentire al prodotto successivo di trovare già equipaggiata la configurazione degli utensili, mentre la macchina è ancora in esecuzione sui prodotti esistenti. La riduzione dei set-up è uno dei principali componenti per implementare un sistema di produzione trainante, come il "just in time". I guadagni documentati dall'implementazione del TPM riportano un aumento della produttività delle apparecchiature tra il 50 e l'80%, il tempo delle lavorazioni per il valore aggiunto (a persona) in aumento del 100-150%, la produttività del lavoro aumentata fino al 150 %, e una riduzione dei tempi di set-up dal 50 al 70%.

Costi di manutenzione ridotti

L'evoluzione dal ruolo riparazione a guasto al miglioramento proattivo permette un'organizzazione per ridurre i costi generali di manutenzione. Utilizzando la manutenzione programmata, l'organizzazione può distribuire il lavoro a tutti i membri dello staff. Inoltre, l'attuazione della manutenzione autonoma del TPM elimina molte delle attività tecnicamente meno impegnative del carico di lavoro del personale di manutenzione. Questo consente di liberare il personale di manutenzione per concentrarsi su miglioramenti proattivi, analisi delle prestazioni delle attrezzature e semplificazione delle attuali pratiche di manutenzione. Questa transizione di responsabilità richiede un team di gestione illuminato che si concentra sui potenziali guadagni derivanti da una migliore manutenzione, piuttosto che concentrarsi sulla riduzione dei costi semplicemente diminuendo il personale di manutenzione. Aumentare l'efficienza dell'impianto porta a costi energetici inferiori. L'apparecchiatura passa meno tempo al minimo e opera più intensamente con il TPM. I seguenti dati forniscono esempi dei benefici che le aziende di successo hanno ricevuto dal loro programma TPM: spese di manutenzione ridotte del 40%, energia conservata del 30% e lavoro di manutenzione ridotto del 60%.

Riduzione delle Scorte

Qualsiasi organizzazione di produzione che utilizza apparecchiature inaffidabili deve mantenere inutilmente una grande quantità di prodotti finiti per soddisfare le esigenze dei clienti, mentre l'apparecchiatura non è operativa. Più le macchine sono inaffidabili, maggiore è lo stock necessario di prodotti finiti. Tutto questo inventario aggiuntivo è in grado di creare molti problemi: i cambiamenti nei requisiti dei clienti richiedono troppo tempo per essere incorporati, il nuovo tempo per realizzare un prodotto deve permettere di utilizzare i prodotti finiti, eventuali parti difettose che vengono prodotte possono stare nell'area dei buffer in attesa di essere scartate perché ci si accorge solo allo step successivo di eventuali non conformità. L'inventario effettivamente nasconde questi problemi di produzione. L'implementazione di un programma TPM elimina buona parte delle incertezze nell'output e nel tempo di ciclo della produzione del sistema. I pezzi di ricambio per le attrezzature di produzione sono un'altra fonte di scorte inutili che producono costi. Attraverso l'ingegneria dell'affidabilità, la raccolta e l'analisi dei dati, il personale di manutenzione è in grado di sviluppare una stima accurata delle parti di ricambio necessarie e la frequenza del loro utilizzo. L'implementazione del TPM permetterà ai tecnici di manutenzione di eseguire le analisi necessarie a ottimizzare la politica di inventario delle loro parti di ricambio. Le aziende che hanno implementato il TPM sono stati in grado di aumentare i tassi di rotazione delle scorte fino al 200%, tagliare i livelli di inventario del 35% e ridurre i costi di parti di ricambio dal 20 al 30%. Un ulteriore sforzo deve essere applicato alla riduzione delle scorte tramite migliorati sistemi di pianificazione e processi di produzione sincronizzati.

Maggiore sicurezza

I primi passi nella realizzazione delle attività di manutenzione autonoma del TPM creano un ambiente che potrebbe facilmente aumentare gli incidenti e ridurre la sicurezza. Questo è il risultato degli operatori che assumono ulteriori attività di manutenzione a loro sconosciute, per le quali non sono effettivamente formati. Dato che tali compiti sono nuovi per chi li esegue e spesso comprendono attività potenzialmente azzardate (rimozione dei detriti dalle apparecchiature, controllo di catene e ingranaggi, ecc), essi rappresentano una nuova minaccia per la sicurezza. Pertanto, garantire la sicurezza degli operatori deve essere una funzione primaria del piano di attuazione del TPM. Ciò richiede una formazione completa, sviluppando una manutenzione

infallibile e implementando delle procedure migliorate. Inoltre gli addetti devono sviluppare una migliore comprensione delle loro attrezzature, tramite le attività di manutenzione di routine. Questa nuova conoscenza aiuta l'operatore a prendere decisioni più intelligenti. La sicurezza di tutti gli individui coinvolti nell'impianto deve essere una priorità assoluta di qualsiasi buon programma TPM. I benefici della maggiore sicurezza hanno permesso ad alcune aziende di ridurre praticamente a zero i loro incidenti. Un altro vantaggio collaterale di tale programma è che l'inquinamento è spesso ridotto grazie ad apparecchiature più efficienti, che si estende ad avere un ambiente circostante più salutare.

Morale migliorato

L'ultimo vantaggio analizzato è il morale dei dipendenti. Come ogni cambiamento sul luogo di lavoro, il TPM è causa di rottura con la consolidata situazione precedente. Tuttavia, questo non deve necessariamente essere del tutto negativo. Dal momento che il TPM utilizza squadre di dipendenti per sviluppare i piani di attuazione e applicarli, ciò permette agli operatori di essere "al posto di comando". Questa proprietà rende gli operatori più orgogliosi del loro equipaggiamento e capaci di prendere decisioni informate sul modo migliore per utilizzare l'apparecchiatura. Ovviamente, questo richiede il supporto della gestione, poiché gli operatori ora stanno assumendo autorità decisionale. Se i gestori non sono disposti a cedere il controllo di queste decisioni, l'orgoglio può diventare frustrazione. Ora i tecnici hanno il tempo per effettuare analisi delle attrezzature, lavorare con i progettisti delle apparecchiature, e lavorare su altri compiti impegnativi e tecnici.

3.3.4.10 - Il fallimento del TPM

Il TPM è la politica che permette di sviluppare la produzione con un'ottica globale.

Le aziende possono essere divise in tre gruppi:

- aziende che hanno un sistema TPM efficiente e funzionante
- aziende che pensano di avere un sistema TPM, ma invece non hanno nemmeno gli aspetti basilari
- aziende che hanno implementato gli aspetti principali, ma li hanno poi lasciati degenerare

Al giorno d'oggi non c'è spazio per l'improvvisazione quando si tratta di gestione della produzione

o della manutenzione. Avere una strategia errata può portare a costi insostenibili, e quindi a una riduzione della redditività dell'impianto o peggio, al fallimento. Per ampliare la propria presenza-sopravvivenza sul mercato, la maggior parte delle aziende utilizza svariati software per monitorare l'andamento del processo produttivo al proprio interno.

Molte aziende pensano che sia sufficiente utilizzare gli indicatori per valutare le performances del TPM. Gli indicatori tipici sono: produttività, costi, fornitura, qualità, sicurezza e morale. Questi indicatori possono essere tanto utili, quanto inutili, in particolar modo se la gestione li utilizza soltanto per soddisfare i processi di audit (interni o esterni), limitandosi così ad analisi superficiali.

I fattori che portano al fallimento del TPM:

- Aumento del ritmo produttivo giornaliero, con la stessa squadra
- Mancanza di tempo per la manutenzione autonoma
- Più macchine gestite contemporaneamente da un unico operatore
- Stress da lavoro (l'operatore da orgoglioso diventa frustrato, se viene richiesta una quantità eccessiva di lavoro, o i suoi suggerimenti non vengono presi in considerazione)
- Operatori che credono di dover solo produrre e non fare anche manutenzione
- Implementazione del TPM in modo rapido omettendo alcuni passaggi di consolidamento
- Mancanza di formazione del personale (non solo tecnico, ma anche gestionale)
- La mancanza di follow-up dello stato di avanzamento del programma e la sua valutazione
- Obiettivi che non vengono raggiunti e vengono abbandonati senza spiegazione
- Ignoranza da parte degli operatori riguardo l'evoluzione del programma TPM
- Impegno insufficiente dei capi e dello staff superiore
- Turn over della leadership
- Tagliare gli investimenti senza criteri chiari per gli operatori e addetti alla manutenzione

Non basta investire considerevoli risorse per avere un piano TPM efficiente e remunerativo, l'aspetto chiave è la collaborazione e la gestione dell'azienda come un tutt'uno.

Proprio perché il TPM è un progetto complesso, la sua piena realizzazione (ammesso che sia positiva) richiede un periodo di avvio di 1-3 anni. Oggi con un mercato volubile, in continua evoluzione e prodotti con un ciclo vita brevissimo questa attesa è inaccettabile. Per questo le aziende optano per altre forme di manutenzione.

3.3.5 - 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).

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

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

- la manutenzione programmata statica
- la manutenzione programmata dinamica

La manutenzione programmata statica

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

La manutenzione programmata dinamica

Nella manutenzione programmata dinamica gli intervalli sostitutivi sono determinati in genere in base alla storia della macchina stessa. La rilevazione di 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 è efficace sia in termini economici che di riduzione della indisponibilità della macchina quando il guasto presenta una certa regolarità di accadimento.

Tuttavia per 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.

Una manutenzione basata sul monitoraggio può consentire quindi di:

- ridurre i costi di manutenzione
- aumentare la disponibilità operativa delle macchine
- migliorare la sicurezza
- ridurre la quantità e la gravità dei guasti in esercizio

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

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

Il monitoraggio delle condizioni può essere definito come un metodo che indica lo stato di "salute" della macchina utilizzando parametri che evidenziano i cambiamenti avvenuti nel tempo nella macchina stessa. I criteri principali utilizzati sono: analisi acustica, analisi di temperatura, analisi dei meati dei fluidi interni (lubrificanti, refrigeranti, ecc.), analisi dei parametri di processo quali ad esempio il rispetto delle tolleranze di lavorazione, le velocità di movimento, analisi di corrosione, analisi di vibrazione dinamica (su cuscinetti, ecc.) e termografia (puntiforme o distribuita).

La manutenzione preventiva, di cui fanno parte la programmata e la manutenzione su condizione,

svolge quindi un ruolo determinante nel contenere il tasso di guasto. I componenti vengono ispezionati e/o revisionati prima che avvenga il cedimento, pertanto il tasso di guasto tende a scendere sotto a quello ottenibile con la manutenzione correttiva attestandosi teoricamente ai livelli standard.

La strategia della manutenzione adottata per un determinato sistema identifica quindi il tipo e le modalità del servizio applicato. Il bilancio finale va fatto tra:

- la spesa per sostenere la manutenzione, sia sotto il profilo dei materiali che della mancata produzione derivante dai fermi macchina per revisione
- il guadagno economico in termini di disponibilità e quindi di produzione che ne deriva.

3.3.5.1 - Alcuni metodi nella manutenzione preventiva

Nella realtà è difficile individuare con che frequenza effettuare interventi di manutenzione preventiva. Questa incertezza rende problematico ottimizzare la politica manutentiva.

Possiamo avere tre tipi di intervento manutentivo:

- perfetto – dove si ripristina l'impianto a uno stato "as good as new"
- imperfetto – dove si ripristina l'impianto ad una condizione intermedia tra l'essere "as good as new" e la condizione precedente l'intervento manutentivo
- minimale – dove si ripristina l'impianto alla condizione antecedente l'intervento

Secondo questa suddivisione l'intervento più diffuso è certamente quello imperfetto.

Un modello che si basa su questo tipo di intervento è il "The failure rate preventive maintenance model", presentato da Lie Chun e Nakagawa.

Questo modello assume che il tasso di guasto aumenti proporzionalmente con il tempo se non vengono avviate politiche manutentive. Il parametro θ che determina l'efficacia dell'intervento può essere stimato basandosi sul parere di esperti o su dati reali. Per meglio rispecchiare i casi reali, si assume che θ sia una variabile casuale che segue una distribuzione di probabilità.

“The failure rate preventive maintenance model”

In questo modello, il tasso di guasto dopo l'intervento k-esimo è $h_k(t) = \theta^{k-1}h(t)$ per $0 \leq t \leq T$, dove $\theta > 1$ è il fattore di assestamento, e T è l'intervallo tra due interventi manutentivi successivi. Ogni azione manutentiva riporta a zero il tasso di guasto, il quale dopo ogni intervento presenta un aumento maggiore (aumenta la pendenza della curva t-h_k). Il fattore di assestamento θ è un indice per determinare l'efficacia della manutenzione preventiva.

Ipotesi:

- Si eseguono interventi al tempo kT, dove k=1,2,...,N. Al tempo NT si sostituisce il macchinario
- Se non si effettuano interventi manutentivi, il tasso di guasto h(t) è strettamente crescente
- il tasso di guasto dopo l'intervento k-esimo è $h_k(t) = \theta^{k-1}h(t)$. F(θ) indica la funzione di distribuzione di θ
- Un intervento può ripristinare lo stato “as good as new”
- I tempi di intervento sono trascurabili
- Il costo della riparazione minimale è c_m, della manutenzione preventiva è c_p e della sostituzione è c_s

Il costo medio nel lungo periodo è:

$$C_{M1}(T, N) = \frac{1}{NT} \left\{ c_m \sum_{k=1}^N \int_0^T \left(\int_1^\infty \theta dF(\theta) \right)^{k-1} h(t) dt + (N-1)c_p + c_s \right\} \quad eq. 1$$

$$\text{dove } \gamma_k = \left(\int_1^\infty \theta dF(\theta) \right)^{k-1} \quad \text{e} \quad r_k(t) = \gamma_k h(t)$$

Riscrivendo:

$$C_{M1}(T, N) = \frac{1}{NT} \left\{ c_m \sum_{k=1}^N \int_0^T r_k(t) dt + (N-1)c_p + c_s \right\} \quad eq. 2$$

Per trovare i valori ottimali N₀ e T₀ che minimizzano C_M(T, N) possiamo utilizzare le seguenti equazioni proposte da Nakagawa per poi risolvere il problema di ottimizzazione:

$$\int_0^T \left\{ (N-1)r_N(t) - \sum_{k=1}^{N-1} r_k(t) \right\} dt < \frac{c_s - c_p}{c_m} \leq \int_0^T \left\{ Nr_{N+1}(t) - \sum_{k=1}^N r_k(t) \right\} dt \quad eq. 3$$

e

$$\sum_{k=1}^N \left\{ T r_k(T) - \int_0^T r_k(t) dt \right\} = \frac{(N-1)c_p + c_s}{c_m} \quad \text{eq.4}$$

Ecco un algoritmo per ottimizzare la procedura (in cui si considera θ costante):

- Input: tasso di guasto $h(t)$, costo della riparazione minimale c_m , costo della manutenzione preventiva c_p , costo della sostituzione c_s , funzione di distribuzione cumulativa di θ $F(\theta)$.
- Output: funzione di distribuzione cumulativa di θ N_0 , intervallo temporale ottimizzato T_0 per la manutenzione preventiva.

1. per $N=(1,2,\dots, \infty)$ eseguire
2. ricavare T risolvendo l'eq.4;
3. se la disequazione 3 è soddisfatta, allora
4. calcolare $C_M(T, N)$ dall'eq.2;
5. $T \rightarrow T_0, N \rightarrow N_0$;
6. break;
7. end
8. end

Esempio numerico

Si supponga che il tempo di guasto abbia una distribuzione secondo la funzione di Weibull $h(t) = \beta t^{\beta-1}$, dove $\beta=1.6$

Diciamo che il fattore di assestamento θ abbia una distribuzione uniforme come segue:

$$F(\theta) = \begin{cases} \frac{\theta-1}{u-1} & 1 \leq \theta \leq u \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases} \quad \text{eq.5}$$

$$e \quad \gamma_k = \left(\frac{1+u}{2}\right)^{k-1} \quad e \quad r_k(t) = \beta_{\gamma_k} t^{\beta-1}$$

La soluzione ottimale N_0 e T_0 deve soddisfare le seguenti espressioni:

$$T_o = \left\{ \frac{(N_o - 1)c_p + c_s}{c_m(\beta - 1) \sum_{k=1}^{N_o} \gamma_k} \right\}^{1/\beta}$$

$$(N_o - 1)T_o^\beta \gamma_{N_o} - T_o^\beta \sum_{k=1}^{N_o-1} \gamma_k < \frac{c_s - c_p}{c_m} \leq N_o T_o^\beta \gamma_{N_o+1} - T_o^\beta \sum_{k=1}^{N_o} \gamma_k$$

Quindi il costo medio nel lungo periodo è:

$$c_{m1}(T_o, N_o) = \frac{1}{T_o N_o} \left\{ c_m T_o^\beta \sum_{k=1}^{N_o} \gamma_k + (N_o - 1)c_p + c_s \right\}$$

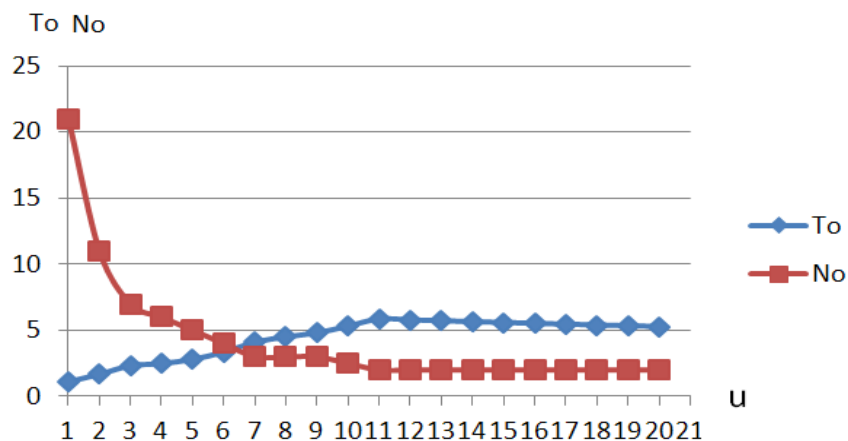
Evans e altri ricercatori hanno studiato che relazioni ci sono tra i vari costi. E' stato dimostrato che i costi della manutenzione a guasto possono essere quaranta volte i costi della manutenzione preventiva, i costi di funzionamento e di manutenzione dei sistemi di servizio sono cinque volte i costi di immobilizzo, mentre i costi di gestione saranno duecento volte i costi di immobilizzo.

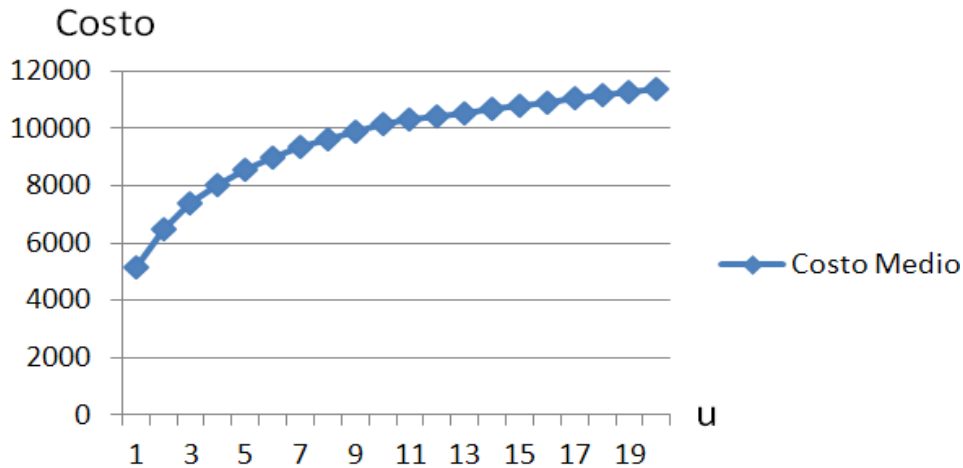
Assumendo quindi:

$c_p=50$, $c_m =1750$, $c_s =45000$, variazione di u (eq.5) tra 1.1 e 3.0,

si ottengono i seguenti risultati:

u		1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2
No		21	11	7	6	5	4	3	3	3	3
To		1,136	1,7	2,34	2,5028	2,817	3,359	4,294	4,177	4,066	3,959
Costo medio		5141,512	6486,536	7373,345	8035,425	8556,285	8960,325	9335,868	9595,907	9858,553	10123,73
u		2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
No		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
To		5,837	5,767	5,698	5,632	5,568	5,506	5,445	5,386	5,329	5,273
Costo medio		10289,76	10415,4	10540,14	10664	10787	10909,16	11030,51	11151,06	11270	11389,86





Dai dati e dai grafici si vede che se u aumenta, cioè se la funzione distribuzione $F()$ del fattore di assestamento si restringe, l'intervallo di sostituzione N_0 diminuisce rapidamente per poi diventare costante, l'intervallo di intervento aumenta, per poi decrescere lievemente nel secondo tratto, e il costo è in continuo aumento.

Modello con tasso di rischio crescente e tasso di riparazione costante

Supponiamo che il sistema presenti un tasso di rischio crescente, $h(t) = at$, dove $a > 0$, e un tasso di riparazione u costante.

Assumiamo che ogni intervento preventivo ripristini l'impianto a una condizione di efficienza "as good as new".

L'idea principale per la soluzione di questo problema consiste nel determinare un intervallo di tempo durante il quale il tasso di rischio crescente può essere sostituito da un costante tasso di fallimento, al fine di garantire un pre-determinato livello di disponibilità.

Applicando il teorema del valor medio del calcolo integrale alla funzione $h(t) = at$, dove $a > 0$, si ottiene:

$$\int_0^x at \, dt = \lambda x \rightarrow \frac{ax^2}{2} = \lambda x \rightarrow x = 0 \vee x = \frac{2\lambda}{a} \quad eq. 1$$

dove λ è il tasso di fallimento costante.

Sapendo che la disponibilità A di un sistema che ha un tasso di fallimento λ costante e un tasso di riparazione u costante è (approssimando):

$$A(t) \approx \frac{u}{u + t} \quad eq. 2$$

possiamo sostituire il valore di λ dell'eq.2 nell'eq.1 per ottenere:

$$x = \frac{2 u(1 - A)}{a A}$$

Si conclude quindi che nell'intervallo $[0,x]$ tra due interventi di manutenzione preventiva la funzione di rischio

$$h(t) = u \frac{1 - A}{A}$$

garantisce approssimativamente lo stesso valore di disponibilità.

Esempio

Ipotizziamo che un sistema abbia un tasso di rischio crescente $h(t) = 7 \cdot 10^{-7}t$ e un tasso di riparazione costante $u = 5 \cdot 10^{-2}$.

Vogliamo calcolare l'intervallo di tempo massimo tra due interventi manutentivi per garantire una disponibilità A pari al 98%.

Applicando le formule precedentemente esposte otteniamo:

$$\lambda = \frac{5 \cdot 10^{-2}(1 - 0.98)}{0.98} = 1.020408 \cdot 10^{-3}$$

$$\int_0^x 7 \cdot 10^{-7}t dt = 1.020408 \cdot 10^{-3}x \rightarrow \frac{7 \cdot 10^{-7}x^2}{2} = 1.020408 \cdot 10^{-3}x \rightarrow x = 0 \vee x = 2915.45$$

Per riportare l'impianto ad una condizione ottimale l'intervallo tra due interventi preventivi risulta di 2915 ore per garantire una disponibilità del 98%.

“Golden Section Method”

Il metodo “golden section” è una procedura iterativa che ad ogni passaggio riduce l'intervallo all'interno del quale si trova il valore ottimale che stiamo cercando. L'intervallo all'iterazione k è $[a_k, b_k]$.

Il nostro obiettivo è quello di minimizzare il costo medio unitario nell'intervallo t_p (interventi programmati).

Nell'ipotesi di una politica manutentiva ad età costante la durata del ciclo è la media pesata tra la durata attesa nel caso di intervento preventivo t_p e la durata del ciclo nel caso di intervento correttivo MTBF. I pesi sono la probabilità di effettuare rispettivamente un intervento preventivo (quindi in assenza di guasti, con affidabilità pari a $R(t_p)$) o un intervento correttivo (con presenza di guasti, quindi con affidabilità complementare $1 - R(t_p)$).

In formule:

$$MTBM(t_p) = t_p R(t_p) + M(t)[1 - R(t_p)] = t_p R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt$$

dove l'integrale è il Mean Time Between Failure.

Dall'equazione si verifica che se t_p tende a zero il Mean Time Between Maintenance tende al periodo t_p prefissato, se invece t_p tende a infinito, ovvero se si fissa un intervallo di manutenzione preventiva troppo grande, inevitabilmente il MTBM sarà uguale al MTBF.

Il costo totale per ciclo si ricava da:

$$C(t_p) = C_p R(t_p) + C_c [1 - R(t_p)]$$

dove

C_p è il costo per intervento preventivo

C_c è il costo per intervento correttivo

$R(t_p)$ l'affidabilità del sistema all'istante t_p

$1 - R(t_p)$ probabilità di guasto all'istante t_p

Il costo medio per intervento quindi risulta:

$$C_{mi}(t_p) = \frac{C(t_p)}{MTBM(t_p)} = \frac{C_p R(t_p) + C_c [1 - R(t_p)]}{t_p R(t_p) + \int_0^{t_p} t f(t) dt}$$

Il nostro obiettivo quindi è trovare il costo medio minimo in un intervallo $a \leq t_p \leq b$.

Fase 1:

Si sceglie come condizione di uscita un intervallo di tolleranza δ e si pone $(a_1, b_1) = (a, b)$.

Ponendo $k=1$ si calcola:

$$\phi_1 = a_1 + (1-\alpha)(b_1 - a_1)$$

$$\chi_1 = a_1 + \alpha(b_1 - a_1) \text{ dove } \alpha = 0.618$$

$$C_{mi}(\phi_1) \text{ e } C_{mi}(\chi_1)$$

Fase 2:

Se $(b_k - a_k) < \delta$ abbiamo raggiunto il risultato che verifica la nostra tolleranza e $t_{p \text{ ott}} = \frac{a_k + b_k}{2}$ altrimenti:

se $C_{mi}(\phi_k) > C_{mi}(\chi_k)$ si passa alla fase 3

se $(\phi_k) \leq C_{mi}(\chi_k)$ si passa alla fase 4

Fase 3:

si pone:

$$a_{k+1} = \phi_k$$

$$b_{k+1} = b_k$$

$$\phi_{k+1} = \chi_k$$

$$\chi_{k+1} = a_{k+1} + \alpha(b_{k+1} - a_{k+1})$$

si calcola $C_{mi}(\chi_{k+1})$

si pone $k = k+1$ e si torna alla fase 2

Fase 4:

si pone:

$$a_{k+1} = a_k$$

$$b_{k+1} = \chi_k$$

$$\chi_{k+1} = \phi_k$$

$$\phi_{k+1} = a_{k+1} + (1-\alpha)(b_{k+1} - a_{k+1})$$

si calcola $C_{mi}(\phi_{k+1})$

si pone $k = k+1$ e si torna alla fase 2

Nelle fasi 3 e 4 si restringe l'intervallo fino a ottenere la soluzione. Più il valore di δ è piccolo, maggiori iterazioni serviranno per ottenere il risultato, ma questo sarà molto più preciso.

Esempio numerico

Consideriamo un componente avente una distribuzione di probabilità di guasto $f(t)$ costante in 8 settimane:

$$\begin{cases} f(t) = \frac{1}{8} & \text{per } 0 < t < 8 \\ f(t) = 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

e siano noti i costi:

C_c = costo di un intervento correttivo = 30000 €

C_p = costo di un intervento preventivo = 2500 €.

La probabilità di guasto risulta: $F(t) = \begin{cases} \int_0^t f(t) dt = \int_0^t \frac{1}{8} dt = \frac{1}{8}t & \text{per } 0 < t < 8 \\ 1 & \text{per } t \geq 10 \end{cases}$

e l'affidabilità: $R(t) = \begin{cases} 1 - F(t) = 1 - \frac{1}{8}t & \text{per } 0 < t < 8 \\ 0 & \text{per } t \geq 10 \end{cases}$

Quindi:

$$C_{mi}(t_p) = \frac{2500 \left(1 - \frac{1}{8}t_p\right) + 30000 \left(\frac{1}{8}t_p\right)}{t_p \left(1 - \frac{1}{8}t_p\right) + \int_0^{t_p} t \frac{1}{8} dt} = \frac{2500 + 3437.5t_p}{t_p - \frac{1}{16}t_p^2}$$

Utilizziamo il "golden section method" per minimizzare il costo:

si sceglie come intervallo di tolleranza $\delta = 1$ settimana, e si assume che $(a_1, b_1) = (0, 8)$ settimane.

Prima iterazione

Ponendo $k=1$ si calcola:

$$\phi_1 = 0 + (1-\alpha)(8 - 0) = 3.056$$

$$\chi_1 = 0 + \alpha(8 - 0) = 4.944 \quad \text{dove } \alpha = 0.618$$

$$C_{mi}(\Phi_1) = \frac{2500+3437.5 \cdot 3.056}{3.056 - \frac{1}{16}3.056^2} = 5260.23 \quad \text{e} \quad C_{mi}(\chi_1) = \frac{2500+3437.5 \cdot 4.944}{4.944 - \frac{1}{16}4.944^2} = 5706.46$$

Dato che $(b_1 - a_1) < 1$ cioè $(8 - 0) < 1$ non è verificato, passiamo alla seconda iterazione.

Poiché $C_{mi}(\Phi_1) \leq C_{mi}(\chi_1)$ si passa alla fase 4.

Seconda iterazione

$$a_2 = a_1 = 0$$

$$b_2 = \chi_1 = 4.944 \quad \text{quindi in nuovo intervallo da } (0, 8) \text{ è diventato } (0, 4.944)$$

$$\chi_2 = \phi_1 = 3.055$$

$$\phi_2 = a_2 + (1-\alpha)(b_2 - a_2) = 1.889$$

$$C_{mi}(\Phi_2) = 5398.45 \quad \text{e} \quad C_{mi}(\chi_2) = 5260.23$$

Dato che $(b_2 - a_2) < 1$ cioè $(4.944 - 0) < 1$ non è verificato, passiamo alla terza iterazione.

Poiché $C_{mi}(\Phi_2) > C_{mi}(\chi_2)$ si passa alla fase 3.

Terza iterazione

$$a_3 = \phi_2 = 1.889$$

$b_3 = b_2 = 4.944$ quindi in nuovo intervallo da $(0, 4.944)$ è diventato $(1.889, 4.944)$

$$\phi_3 = \chi_2 = 3.055$$

$$\chi_3 = a_3 + \alpha(b_3 - a_3) = 3.777$$

$$C_{mi}(\Phi_3) = 5260.23 \quad e \quad C_{mi}(\chi_3) = 5366.11$$

Dato che $(b_3 - a_3) < 1$ cioè $(4.944 - 1.889) < 1$ non è verificato, passiamo alla quarta iterazione.

Poiché $C_{mi}(\Phi_3) \leq C_{mi}(\chi_3)$ si passa alla fase 4.

Quarta iterazione

$$a_4 = a_3 = 1.889$$

$b_4 = \chi_3 = 3.777$ quindi in nuovo intervallo da $(1.889, 4.944)$ è diventato $(1.889, 3.777)$

$$\chi_4 = \phi_3 = 3.055$$

$$\phi_4 = a_4 + (1-\alpha)(b_4 - a_4) = 2.61$$

$$C_{mi}(\Phi_4) = 5252.11 \quad e \quad C_{mi}(\chi_4) = 5260.23$$

Dato che $(b_4 - a_4) < 1$ cioè $(3.777 - 1.889) < 1$ non è verificato, passiamo alla quinta iterazione.

Poiché $C_{mi}(\Phi_4) \leq C_{mi}(\chi_4)$ si passa alla fase 4.

Quinta iterazione

$$a_5 = a_4 = 1.889$$

$b_5 = \chi_4 = 3.055$ quindi in nuovo intervallo da $(1.889, 3.777)$ è diventato $(1.889, 3.055)$

$$\chi_5 = \phi_4 = 2.61$$

$$\phi_5 = a_5 + (1-\alpha)(b_5 - a_5) = 2.33$$

$$C_{mi}(\Phi_5) = 5278.59 \quad e \quad C_{mi}(\chi_5) = 5252.11$$

Dato che $(b_5 - a_5) < 1$ cioè $(3.3.055 - 1.889) < 1$ non è verificato, passiamo alla sesta ed ultima iterazione.

Poiché $C_{mi}(\Phi_5) > C_{mi}(\chi_5)$ si passa alla fase 3.

Sesta iterazione

$$a_6 = \phi_5 = 2.33$$

$b_6 = b_5 = 3.055$ quindi in nuovo intervallo da $(1.889, 3.055)$ è diventato $(2.33, 3.055)$

$$\phi_6 = \chi_5 = 2.61$$

$$\chi_6 = a_6 + \alpha(b_6 - a_6) = 2.78$$

$$C_{mi}(\Phi_6) = 5248.75 \quad e \quad C_{mi}(\chi_6) = 5252.11$$

Dato che $(b_6 - a_6) < 1$ cioè $(3.055 - 2.33) = 0.721 < 1$ è verificato, abbiamo trovato la soluzione ottimale:

$$t_{p \text{ ott}} = \frac{a_6 + b_6}{2} = 2.69 \text{ settimane}$$

volendo si possono fare ulteriori iterazioni per ottenere un risultato più preciso.

3.3.6 - Manutenzione predittiva

La manutenzione predittiva è un tipo di manutenzione preventiva che viene effettuata a seguito dell'individuazione di uno o più parametri misurati ed estrapolati utilizzando appropriati modelli matematici allo scopo di individuare il tempo residuo prima del guasto. A tale fine si utilizzano svariate metodologie, come ad esempio le analisi tribologiche sui lubrificanti, la misura delle vibrazioni, la termografia, l'analisi delle correnti assorbite. Una variazione delle misure effettuate

rispetto allo stato di normale funzionamento indicherà l'aumentare del degrado e, in definitiva, permetterà di prevedere il momento del guasto.

Esempi di tale metodo sono:

- le parti soggette a usura, aumentando l'attrito, producono calore, questo aumento di temperatura è evidenziato appunto dalla termografia;
- il motore lascia nell'olio particolato metallico che indica un principio di usura. Prendendo piccole quantità di olio se ne può effettuare l'analisi chimica e verificare la salute della macchina;
- un cuscinetto danneggiato, un disallineamento, uno squilibrio provocheranno un aumento di vibrazioni.
- lo stesso sistema è usato per il controllo manutentivo del serraggio dei morsetti dei cavi elettrici che se lenti, provocano calore per effetto Joule.

E' più corretto parlare di "manutenzione predittiva" quando esiste una relazione diretta tra il valore di un segnale e la vita residua del pezzo che emette tale segnale. Si può così determinare il tempo residuo prima di un guasto e pianificare quindi l'intervento.

Si parla di "manutenzione su condizione" quando non esiste o non si riesce a determinare questa relazione e quindi si assume un limite entro il quale intervenire.

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. Questo porta ad un notevole risparmio economico, in quanto i componenti vengono sfruttati fino all'inizio della loro usura.

Cosa serve nella manutenzione predittiva?

- serve un personale qualificato che sia in grado di agire velocemente, e che sappia osservare e individuare (grazie ad addestramento ed esperienza) eventuali segnali di anomalia o usura
- bisogna definire con attenzione lo stato dei parametri più critici, ed avere sistemi sempre aggiornati e tarati (costi aggiuntivi)

3.4 - La manutenzione in Italia

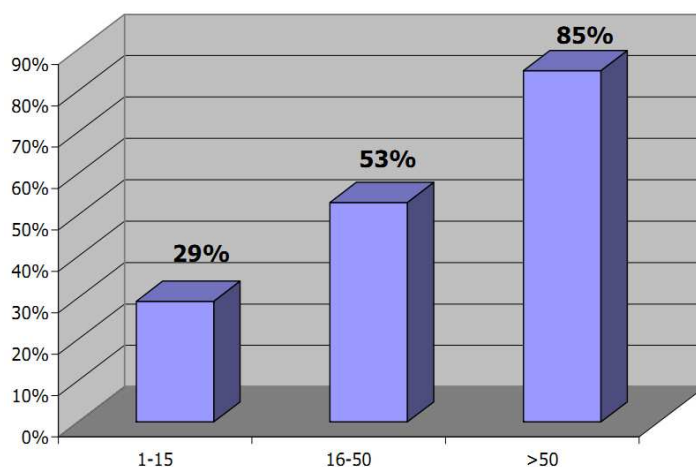
L'Associazione Italiana della Manutenzione (A.I.MAN) ha svolto nel 2004 un'indagine su 174 imprese italiane, gran parte delle quali con un numero di addetti compreso tra 2 e 200 e un fatturato tra 500.000 e 50 milioni di euro.

Si riportano di seguito i risultati raccolti:

		Settori						Totale
		Chimico Farmaceutico	Elettrico Elettronico	Fonderie Acciaierie	Meccanico	Siderurgico 2 ^a lav.ne	Altri	
Dipendenti	1-15	4	11	4	13	17	19	68
	16-50	4	13	0	12	15	16	60
	>50	5	8	4	25	4	0	46
	Totale	13	32	8	50	36	35	174

Le aziende sono state divise in base al settore lavorativo e al numero di impiegati.

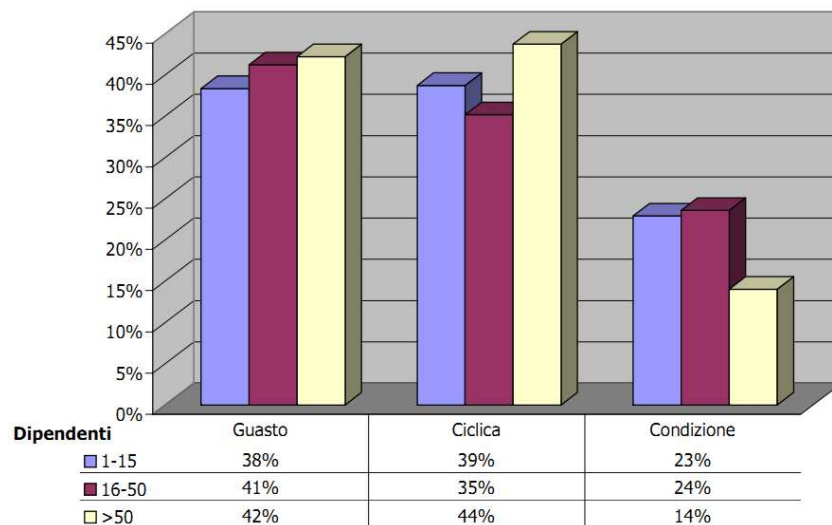
Esistenza della funzione manutenzione



L'immagine mostra come la presenza della manutenzione aumenti considerevolmente con le dimensioni dell'impresa. E' facile intuire che in aziende di piccole dimensioni le azioni manutentive possano essere delegate a figure interne come compiti "aggiuntivi", mentre già nelle medie aziende questo non è più possibile e inizia a delinearsi una funzione manutenzione separata e indipendente. Nelle aziende di grandi dimensioni la manutenzione assume un ruolo fondamentale per l'ottimizzazione delle attività interne, per la produzione, e ciò giustifica la maggior percentuale che essa assume. Queste percentuali variano da settore a settore;

nell'industria meccanica le aziende hanno dimensioni medio piccole quindi è possibile trovare modesti valori di sviluppo della manutenzione poiché questa viene delegata agli operatori stessi. Nel settore chimico – farmaceutico o nelle fonderie le dimensioni diventano tali da richiedere una manutenzione efficace e ben definita.

Tipi di politiche manutentive



L'immagine mostra che politica manutentiva adottino mediamente le diverse aziende.

Nella realtà le aziende utilizzano un "mix" di varie politiche per fronteggiare il tanto temuto "guasto", e le percentuali variano da settore a settore. Diciamo che un buon mix manutentivo prevede un 10–15% di manutenzione a guasto, un 30-40% di manutenzione ciclica (preventiva) e un restante 40-50% di manutenzione su condizione.

Nel 2007 l'A.I.MAN ha condotto un'altra indagine nel nord-est su 110 aziende di vari settori dai 25 ai 100 dipendenti. Le domande principali del questionario erano:

- vengono praticati interventi di manutenzione preventiva? con quale frequenza e con che peso sul totale delle attività di manutenzione?
- hanno implementato il TPM?

I risultati raccolti hanno dimostrato che:

- la grande maggioranza delle aziende ritiene di praticare azioni preventive, anche se non sempre con i risultati sperati
- la manutenzione su condizione viene praticata maggiormente nelle aziende di grandi dimensioni, appunto dove la funzione manutenzione è riconosciuta come un elemento fondamentale per la sopravvivenza dell'azienda stessa
- il TPM viene implementato invece un po' in tutti i tipi di aziende senza particolari distinzioni, anche se le percentuali sono tutt'altro che incoraggianti: 8% 14% e 24% rispettivamente per piccole, medie e grandi imprese.

Bibliografia:

- Seiichi Nakajima - “TPM Total Productive Maintenance”, productivity Italia
- JIPM - Japan Institute of Plant Maintenance - “Applichiamo il TPM, Guida operative alla realizzazione del Total Productive Maintenance”
- Cattaneo M., Furlanetto L., Mastroforti C., Manutenzione produttiva. L’esperienza del TPM in Italia, Isedi, Torino 1991

Files:

- AIMAN, La Manutenzione in Italia nella Piccola e Media Impresa, AIMAN, Documenti Interni, Milano 2000.
- AIMAN, Le dinamiche della manutenzione, 2006
- Rosa L., *Impianti industriali meccanici*, appunti in rete

Articoli:

- Marcelo Rodrigues, Kazuo Hatakeyama, “Analysis of the fall of TPM in companies”, Journal of Materials Processing Technology 179 (2006) 276–279
- Shaomin Wu, Derek Clements-Croome, “Preventive maintenance models with random maintenance quality”, Reliability Engineering and System Safety 90 (2005) 99–105