

### Definizione di Manutenzione

In un contesto mondiale in cui occorre massimizzare efficienza e produttività, la manutenzione rappresenta sempre più un fattore strategico di successo aziendale, in quanto attività economica finalizzata al raggiungimento del massimo livello di utilizzabilità e disponibilità degli impianti e dei fattori produttivi, realizzando questo obiettivo con efficacia, rapidità ed economia.

La manutenzione non è quindi costituita solo da azioni “tecniche” correttive o di sostituzione delle parti guaste o usurate, ma comprende anche un’efficiente organizzazione dell’attività stessa, necessaria per:

- Minimizzare i tempi di diagnosi (utilizzando mezzi e strumenti adatti)
- Ridurre il numero di fermate per guasti casuali (risalendo alle cause ed eliminandole)
- Accorpare le scadenze degli interventi
- Assicurare l’efficienza globale per lunghi periodi
- Minimizzare le interruzioni programmate, la cui durata e cadenza risultino già previste e prestabilite

Effettuare la manutenzione in questi termini, rappresenta il valore aggiunto di tale attività, che ne esalta le competenze e la professionalità, fornendo un servizio completo, valido ed efficace.

La norma tecnica CEI 56-50, 1997 (UNI 10147 del 1/10/2003) afferma che: la **Manutenzione**, è la combinazione di tutte le azioni tecniche e amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o riportare un’entità in uno stato in cui possa svolgere la funzione richiesta (Terminologia sulla fidejussione e sulla qualità del servizio)

### Scopo della materia TTIM

Lo scopo della materia Tecnologie e Tecniche di Installazione e Manutenzione (TTIM) è quello di formare la “Nuova Figura del Manutentore”, intesa nei termini professionali definiti precedentemente.

Oggi, un buon manutentore, deve possedere culture e conoscenze tecniche trasversali: **Meccaniche, Elettriche, Elettroniche ed Energetiche.**

Saper operare su un impianto, significa comprenderne il funzionamento, saper individuare le funzioni e i gruppi che lo compongono, capire le interazioni fra sensori e attuatori, organi di comando e di potenza, generatori e utilizzatori di energia. Il riferimento ultimo della manutenzione, è quindi l’impianto nella sua complessità e interezza: le competenze che si acquisiranno consentiranno al diplomato di intervenire su un impianto per individuare il componente che impedisce il corretto funzionamento, la causa e il metodo più opportuno di intervento.

## Le Tipologie di Manutenzione più Tradizionalmente Diffuse

- **Manutenzione Autonoma** - Sono tutte quelle azioni atte a determinare e giudicare il funzionamento di una unità, compresa la identificazione delle cause di usura e la messa in atto delle azioni necessarie per prolungare nel tempo il funzionamento dell'unità
- **Manutenzione Preventiva** - Si tratta di tutte quelle attività che permettono di riconoscere il funzionamento attuale del sistema, in modo da prendere i provvedimenti necessari a rallentare il normale degrado del funzionamento, e di tutte quelle attività che possono essere programmate in fase di progettazione dell'impianto e che fanno parte del manuale di istruzione del costruttore
- **Manutenzione Programmata** - Essa, si realizza quando dopo determinate ore di esercizio, chilometri percorsi, numero di pezzi prodotti, si rende necessario un periodo di fermo macchina per l'esecuzione degli opportuni e previsti interventi di manutenzione
- **Manutenzione a Guasto** (ovvero ripristino) - Si tratta di tutte quelle attività necessarie a ripristinare le funzioni originarie del sistema a fronte di guasti manifesti; l'intervento ha come scopo la rimozione dei problemi che impediscono il funzionamento o la riduzione di prestazioni, il ripristino di usure, senza apporto di miglioramento tecnico
- **Manutenzione Migliorativa** (ovvero rimozione punti deboli) "Retrofit" - Le attività di manutenzione sono rivolte, in questo caso, a miglioramenti tecnici atti ad assicurare a un impianto o ad una unità, il mantenimento delle prestazioni previste in sede di progetto - Grazie a queste attività, un impianto potrà raggiungere, con ogni probabilità, i limiti di disponibilità programmati in fase di progetto, nonostante le usure normali dei componenti utilizzati

È quindi evidente come "La Manutenzione", condotta e organizzata negli elementi di **Manutenzione Autonoma, Manutenzione Preventiva, Manutenzione Programmata, Manutenzione a Guasto e Manutenzione Migliorativa**, costituisca la via ottimale per una gestione economica ed efficiente, con risultati apprezzabili e significativi, funzionalmente legata e coerente con tutti gli altri elementi di miglioramento della produttività aziendale.

## Il TPM

L'insieme delle attività di manutenzione definite in precedenza, attuate secondo un criterio di efficacia ed efficienza, costituisce la base portante del **TPM - Total Productive Maintenance**. Per definizione il TPM rappresenta un metodo di manutenzione totalmente integrata nel processo produttivo, detta comunemente **Manutenzione Produttiva** - Acronimo Inglese Breve: PM (Productive Maintenance)

In quanto tale, il TPM coinvolge globalmente tutta la fabbrica, dalla Direzione fino agli operai in linea, interessando anche gli uffici e i servizi indiretti. Il TPM non è solamente costituito da un metodo o una tecnica organizzativa, ma rappresenta una mentalità, una filosofia, un modo di porsi di tutte le maestranze verso un responsabile impegno al miglioramento continuo, creando le condizioni per ottimizzare il posto di lavoro, ridurre gli sprechi, evitare i guasti e altro ancora. Con l'acronimo "TPM" s'intende la **Manutenzione Produttiva con la Partecipazione di Tutti**.

## Le Quattro Fasi del TPM

Prima fase	Seconda fase	Terza fase	Quarta fase
<b>Pulizia iniziale</b>	<b>Ripristino</b>	<b>Mantenimento</b>	<b>Miglioramento</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effettuare la pulizia a tappeto della macchina e della postazione di lavoro</li> <li>- Rivedere la disposizione di utensili e attrezzi, assicurando ordine, comodità e facilità di prelievo/utilizzo</li> <li>- Segnalare le anomalie riscontrate con un cartellino (rosso), applicandolo ai punti della macchina o agli attrezzi dove vi è l'inconveniente</li> <li>- Definire una check-list di attività di ispezione/controllo</li> <li>- Applicare un cartellino (verde) a ogni punto di ispezione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La manutenzione ripristina le anomalie evidenziate con i cartellini (rossi)</li> <li>- Pianificare la frequenza delle ispezioni e dei controlli, definendo metodi e limiti di accettabilità e di intervento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riportare i risultati dei cartellini d'ispezione sulle schede di automanutenzione delle macchine e delle attrezzature. L'esperienza è know-how!</li> <li>- Applicare la metodologia in modo dinamico e adattativo. Nuovi cartellini nascono con l'insorgere di ulteriori problemi; le frequenze di ispezione si possono ridurre/o infittire in funzione dei risultati ottenuti/misurati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuare le cause di guasti ricorrenti e proporre soluzioni</li> <li>- Applicare le modifiche e monitorare i risultati raggiunti</li> <li>- Consolidare e diffondere le esperienze raccolte</li> </ul>

Il TPM cerca di risolvere i problemi relativi alla diminuzione del rendimento dei macchinari e degli impianti in generale.

## 2 - Interventi Manutentivi

### Classificazione

Interventi per Ispezioni e Assistenze Periodiche: Gli interventi manutentivi per ispezioni e assistenze periodiche sono quelli previsti quotidianamente e quelli standardizzati per ogni impianto. Rientrano fra questi interventi quelli previsti dalla Manutenzione Preventiva.

Interventi per Guasti Improvvisi: Esistono vari tipi di guasti che richiedono interventi manutentivi

- Palesi e nascosti
- Prevedibili e imprevedibili
- Frequenti e saltuari

Interventi per Miglioramenti: Si tratta di modifiche o migliorie che, in alcuni casi, possono incrementare le prestazioni dell'impianto, in altri possono prolungare la vita dei macchinari. Da questi interventi ci si attende un beneficio che può essere legato all'affidabilità dell'impianto oppure alla sua manutenibilità, facilitando quindi i successivi interventi degli operatori e dei manutentori, oppure ancora alla sua sicurezza. Tali interventi hanno anche un impatto sull'aspetto economico della produzione e sul bilancio complessivo dell'impianto.

## Fasi Operative

Scomponendo le varie fasi di lavoro dell'intervento manutentivo in operazioni elementari è possibile individuare tutti gli elementi organizzativi che possono migliorare l'efficienza e l'efficacia del risultato.

**Attività di Ispezione.** L'importanza di tale attività non deve essere sottovalutata, quindi non è sufficiente effettuare un breve controllo visivo (magari distratto o disattento) limitato ad alcuni elementi fondamentali della macchina o dell'impianto da controllare, ma bensì:

- Avere una check-list organizzata di elementi da controllare
- Disporre di una serie di sensori (livelli, temperature, pressioni ecc.) in grado di individuare e registrare il superamento di condizioni critiche o limite di esercizio
- Focalizzare l'intervento sui punti critici o sugli elementi che determinano disfunzioni e segnalazioni di anomalie
- Aumentare il livello di diagnosticabilità della macchina o dell'impianto, ovvero utilizzare gli strumenti più semplici, rapidi ed efficaci per la corretta individuazione dei problemi.

**Microfermate.** I moderni macchinari e impianti di tipo automatico sono gestiti da una unità di governo centralizzata, costituita da un PLC (Controllore a Logica Programmabile), associato a un pannello operatore HMI [Human-Machine Interface), attraverso cui sono fornite tutte le segnalazioni d'allarme e le anomalie del sistema, organizzate secondo una lista temporale. A ogni segnalazione di allarme, la macchina si arresta bloccando il normale avanzamento del ciclo produttivo; spesso, dopo un breve intervento correttivo è possibile ripristinare la segnalazione di anomalia e riprendere la normale attività premendo i pulsanti "Reset" e "Start". Si tratta di microfermate, cioè problemi e segnalazioni non molto gravi, magari fastidiosi, ma sufficienti a determinare elevate perdite di efficienza e di produttività. In molte aziende, il continuo ripetersi di segnalazioni di allarme da parte del sistema automatico viene normalmente considerato come una situazione standard.

**Diagnostica e Ricerca del Guasto.** È una delle fasi di intervento manutentivo più importanti e qualificanti. Spesso la segnalazione di anomalia è l'effetto risultante di una o più cause che convergono nell'identico risultato; pertanto, risalire dall'effetto alla causa prima non è un atto né banale né immediato. Anche in questo caso, per ottimizzare tale fase d'intervento occorre agire in modo sistematico e deterministico. In particolare la **Metodologia FMECA** (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis) ovvero "Analisi dei Modi, degli Effetti e della Criticità dei Guasti", è utilizzata per valutare la gravità delle conseguenze di un guasto correlata con la probabilità del suo verificarsi. La metodologia FMECA prevede la scomposizione della macchina in gruppi e sottogruppi, dedicati alla realizzazione di funzioni specifiche e quindi, sempre in maggiore profondità, fino a livello dei singoli componenti: si evidenzia, in tal modo, come il guasto di un singolo componente comporti la perdita complessiva di una funzione o conduca a un modo operativo parzialmente degradato della funzione stessa. Le relazioni causa-effetto sono così focalizzate, evidenziando in particolare l'importanza relativa del buon funzionamento di un componente nel contesto globale. Alcuni componenti risulteranno vitali, altri solo cooperanti con i primi, altri ancora svolgeranno funzioni ausiliarie di supporto e segnalazione. Eseguita l'analisi FMECA su un macchinario, resi noti i risultati della medesima agli interessati, la ricerca guasti in funzione dei sintomi risulta molto facilitata e diretta.

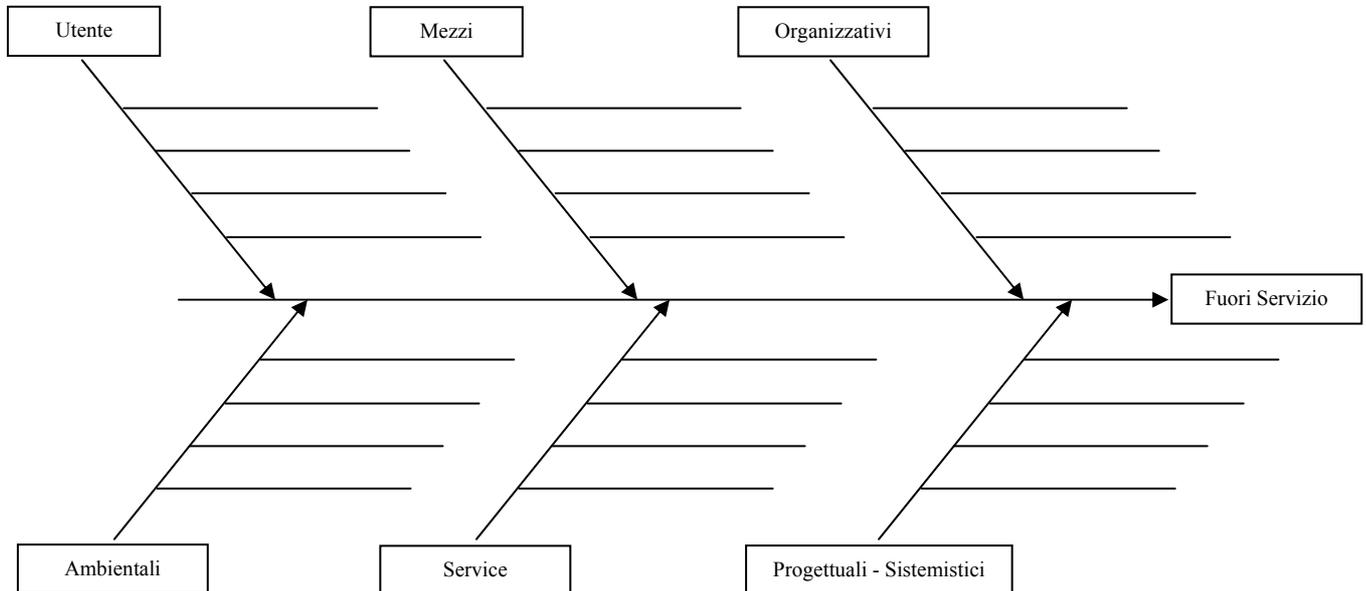
**Sostituzione e Ripristino**. Anche per le attività pratiche e operative, organizzazione e predisposizione sono gli elementi chiave per una veloce ed efficiente esecuzione delle stesse. In generale, si parla di Assistibilità di una Macchina o di un'Apparecchiatura per definire l'insieme di tutte le semplificazioni e gli accorgimenti che rendono rapida, semplice e immediata la sostituzione degli elementi guasti e il ripristino delle condizioni operative. L'Assistibilità, si Misura Mediante un Parametro detto MTTR (Medium Time To Repair) che rappresenta il tempo medio di ripristino di un macchinario per la serie di operazioni previste o prevedibili dal suo ciclo di vita. Tale parametro viene normalmente monitorato e verificato con cadenza regolare, per sorvegliarne l'andamento nel tempo e fissare eventuali attività di miglioramento su macchina.

In ottica TPM, occorre sempre operare per migliorare costantemente l'Assistibilità dei macchinari, in quanto si focalizzano le risorse aziendali per eliminare tutti gli impedimenti alla facile e semplice esecuzione del lavoro, adottando tutte le avvertenze per ridurre il numero di operazioni necessarie.

**Collaudo Finale e Delibera**. È l'ultima fase dell'intervento manutentivo, che permette di rilasciare la macchina e riabilitarla al servizio produttivo. Normalmente si tratta di una verifica di tipo "Sì/No", "Funziona/Non funziona", sufficiente a verificare la scomparsa dell'allarme o della causa della fermata; in alcuni casi si richiede un test completo o una serie di prove che certifichino il completo ristabilimento di tutte le capacità operative dell'impianto: l'intervento manutentivo in corso deve rimediare alla causa del guasto e non essere causa di altri problemi o allarmi. Talvolta la delibera della macchina o dell'impianto deve essere accompagnata da una serie di prove strumentali o parametriche, che certifichino il raggiungimento di determinati obiettivi prestazionali o funzionali, in assenza dei quali non può essere garantito il mantenimento delle tolleranze attese sulla lavorazione dei pezzi che la macchina dovrà produrre. Si tratta quindi di una vera e propria certificazione del risultato finale, del tutto simile alle prove di messa in servizio della macchina originale, che verifica il mantenimento nel tempo delle prestazioni e la conseguente stabilità del processo produttivo.

## Proposta di Esercizio sulla Ricerca Guasti

Per affinare le proprie capacità diagnostiche, imparando ad organizzare in modo sistematico le relazioni causa-effetto, provare a identificare le diverse categorie di appartenenza (**Mezzi, Organizzativi, Utente, Ambientali, Service, Progettuali-Sistemistici**) delle varie cause di guasto ipotizzate a seguito per diversi eventi di Malfunzionamento o Fuori servizio di alcuni macchinari.



L'elenco delle possibili cause di guasto è fornito alla rinfusa. Rintracciare nel contesto, oltre alla categoria di appartenenza, le cause principali (padri) e le cause conseguenti (figli) definendo una struttura ramificata ad albero (detta appunto "albero dei guasti"), secondo lo schema riportato nell'esempio. Numerare le cause in ordine di importanza.

Perché Non si Ottengono Buone Fotocopie?		
Causa	Categoria	Conseguenza di
Toner esaurito		
Originale sbiadito		
Vetro sporco		
Carta strappata		
Carta umida		
Impostazione errata		
Rullo fotosensibile non elettrizzato		
Residui di toner all'interno		
Cattiva qualità carta		
Spessore carta insufficiente		
Prelevati due fogli sovrapposti		
N. copie diverso dal richiesto		
Cassetto carta vuoto		
Mani sporche		
Toner non fissato		
Riscaldatore freddo		
Rullo fotosensibile rigato		
Lampada sporca		

Luminosità lampada insufficiente		
Cassetto carta non chiuso		
Polvere di toner sparsa su elettrodi		
Mancanza di assistenza		
Superato N. max contatore copie		
Residui carta intralciano percorso		
Originale con poco contrasto		
Trasparenza dell'originale		
Ombreggiature sullo sfondo		
Toner umido		
Grumi di toner		
Serbatoio toner esausto pieno		
Mancato prelievo carta		
Alta tensione insufficiente ad elettrizzare il rullo		
Dimensione carta non corretta		
Caratteri sbavati su fotocopia		
Numero ore di servizio eccessivo		
Orientamento originale errato		
Filo ad alta tensione non teso		
Surriscaldamento fotocopiatrice		
Velocità eccessiva passaggio carta		
Fogli carta slittano fra i rulli		
Gioco meccanico sulle boccole rulli		
Mancata lubrificazione		
Eccesso lubrificazione/ingrassaggio		
Spessore carta eccessivo		
Livello toner insufficiente		

### 3 - Applicazione dei Metodi di Manutenzione

#### **Metodi Tradizionali e Innovativi**

Considerando l'applicazione dei diversi tipi di manutenzione presentati nel punto 1, occorre ricordare che non esiste in assoluto un metodo di manutenzione adatto a tutte le situazioni; al contrario, ciascun metodo viene applicato a situazioni produttive e impiantistiche di tipo diverso. Spesso infatti, nel medesimo stabilimento coesistono impianti e macchinari assistiti con metodologie diverse, secondo l'importanza e la criticità dei fattori produttivi a questi collegata. In generale, per scegliere il tipo di manutenzione più idoneo, occorre distinguere fra Impianti e Macchinari: per i primi si richiede sempre la disponibilità al 100%, poiché in assenza di impianti tutta la fabbrica sarebbe costretta a fermarsi e la produzione sarebbe gravemente compromessa; le singole macchine, invece, possono essere rapidamente sostituite da altre similari o con funzioni equivalenti, ragion per cui una situazione di guasto o di fermo per manutenzione risulta più facilmente tollerabile e più o meno rapidamente risolvibile.

#### **Metodi Tradizionali**

Facendo riferimento ai metodi di manutenzione di tipo tradizionale, è possibile identificare i seguenti criteri di applicabilità per tipologia.

Applicazione della Manutenzione Autonoma. La Manutenzione Autonoma è realizzata lasciando all'operatore macchina, o di linea produttiva, una serie di attività d'ispezione e di piccola manutenzione, fra le quali si annoverano:

- **Pulizia** (esterna, interna, da trucioli e residui di lavorazione)
- **Lubrificazione e Ingrassaggio**
- **Sostituzione Filtri** (pneumatici, idraulici)
- **Scarico Condensa e Residui Oleosi dai Gruppi Trattamento Aria Compressa**
- **Serraggio Bulloni e Morsetti Elettrici Allentati**
- **Verifica Tenute e Sostituzione Guarnizioni su Impianti Idraulici**
- **Verifica Usura Cinghie di Trasmissione e Ripristino del Corretto Tensionamento**
- **Controllo Rumorosità e Gioco Cuscinetti**
- **Utilizzo di Programmi Automatici di Autodiagnosi (check-up)**
- **Verifica Prestazioni, Controllo Tolleranze**
- **Misura e Verifica Parametri di Esercizio**

La Manutenzione Autonoma, rappresenta quindi il primo elemento di un circolo virtuoso, in cui si abbandona la via del degrado e del lassismo per imboccare quella del responsabile coinvolgimento di tutto il personale al conseguimento del miglior risultato possibile, in ottica TPM.

La Manutenzione Autonoma non si applica ai grossi impianti industriali, poichè sono troppo estesi per essere delegati ad un numero limitato di addetti, e risulterebbe difficile definire limiti e confini di intervento, aree di responsabilità e zone di competenza.

Per applicare la Manutenzione Autonoma occorre:

- **Predisporre i Tempi di Fermo Macchina** necessari alle attività di manutenzione autonoma all'interno del programma di produzione, evitando accuratamente che urgenze e ritardi produttivi possano causare accantonamenti e tralascio di attività fondamentali di ispezione, decisive per evitare fermi produttivi ben più gravi e non programmati
- **Essere Ordinati e Avere gli Utensili e gli Attrezzi Disponibili sul Posto di Lavoro**, poichè sarebbe impossibile condurre le operazioni di manutenzione in assenza di dotazioni adeguate; meglio pochi e ben definiti attrezzi, applicati su rastrelliere con posti assegnati anzichè banchi di lavoro o carrelli con disposizione "alla rinfusa", dove non si trova mai l'attrezzo giusto al momento giusto
- **Reperire Facilmente Materiali e Minuteria di Ricambio** - Filtri, guarnizioni, fascette di fissaggio, stracci ecc. devono poter essere reperiti molto rapidamente, senza causare l'allontanamento dell'addetto dal posto di lavoro alla ricerca dei medesimi al magazzino; meglio organizzare il ripristino delle scorte a consumo, mediante cartellini di prelievo da attivare con l'ultimo utilizzo del componente in oggetto

Applicazione della Manutenzione Preventiva. Al contrario della manutenzione a guasto, la Manutenzione Preventiva si applica a tutti gli impianti e macchinari che richiedono certezza assoluta e continuità di servizio, essendo il loro funzionamento e utilizzo insostituibili nella sequenza produttiva. Risulta quindi più economico dedicare tempo, risorse e materiale di ricambio, per sostituire pezzi ancora non completamente usurati, che non attendere supinamente condizioni di guasto che potrebbero causare danni incalcolabili o perdite produttive catastrofiche.

La Manutenzione Preventiva si applica pertanto a tutti i mezzi di trasporto pubblico (aerei, treni, navi ecc.) laddove la sicurezza e la continuità di servizio impongono standard di qualità e di continuità di servizio senza riserva alcuna.

Tale manutenzione, è accompagnata da operazioni di ispezione in grado di identificare con maggiore precisione le parti su cui intervenire, individuando i segni premonitori di un possibile degrado o di una riduzione delle caratteristiche dell'impianto o del macchinario. La misura e la registrazione dei parametri tecnici dell'impianto o del macchinario (temperature, consumi energetici, pressioni, portate, livelli ecc.), sono quindi elementi fondamentali della Manutenzione Preventiva, e costituiscono una fase di monitoraggio continua e costante delle sue prestazioni e caratteristiche intrinseche.

Di seguito, sono elencate alcune fra le caratteristiche che rendono applicabile la Manutenzione Preventiva ad impianti e macchinari:

- **La Disponibilità di Dati Storici** - L'affidabilità dei componenti e la loro vita utile devono essere note per evitare interventi troppo frequenti o tardivi; talvolta è preferibile adottare tecnologie meno aggiornate che offrono la disponibilità di dati affidabilistici certi, anziché tecnologie innovative ma ignote in termini di durata
- **La Presenza di Sensori e Trasduttori** - Anche la semplice sostituzione preventiva di un filtro dell'olio risulta adeguata e tempestiva, se il medesimo è dotato di un indicatore di filtro intasato o di un pressostato con segnale elettrico di intasamento; per la medesima ragione lo scatto dei termostati di protezione su armadi elettrici e computer, è sintomo rivelatore di filtri dell'aria intasati nel sistema di raffreddamento e di ricircolo dell'aria.
- **La Presenza di Contatori di Durata di Accensione e di Esercizio Attivo** - In questo modo si possono cadenzare gli interventi di manutenzione preventiva secondo le tempistiche previste dal costruttore
- **La Disponibilità delle Parti di Ricambio** - Ovviamente nelle quantità e tipologie previste dal piano di manutenzione della macchina e dell'impianto, non solo per quanto riguarda i gruppi e i componenti importanti e vitali, ma soprattutto in termini di minuterie, guarnizioni, filtri, olio e materiali di consumo e sostituzione

Applicazione della Manutenzione Programmata. Lo studio sistematico della manutenzione e della durata dei singoli componenti, porta ad individuare azioni di assistenza tecnica specificamente programmate nel tempo, che consentono la riduzione del numero di fermate, mediante l'accorpamento di più interventi in un'unica operazione di manutenzione. Soprattutto nel settore trasporti, è noto il caso di alcune case automobilistiche che hanno modificato lo spessore dei dischi freno e dei ferodi, per poter garantire interventi di Manutenzione Programmata dilazionati a 20.000 km e coincidenti con quelle di altre parti, anziché lasciare il precedente limite di 15.000 km e la conseguente necessità di un numero maggiore di interventi con tempistiche più frequenti e scoordinate fra loro. Si tratta in tal caso, di cura estrema nel determinare a priori il "Total Cost of Ownership" (costo totale di possesso), includendo e programmando adeguati intervalli di manutenzione. La Manutenzione Programmata, viene normalmente applicata per assistere molti impianti industriali, spesso già costruiti in modo ridondante (ovvero a più elementi cooperanti in parallelo ma singolarmente separabili) proprio per poter assicurare la continuità di servizio anche quando una sezione viene fermata per manutenzione. È questa metodologia di duplicazione delle funzioni che rende possibile la Manutenzione Programmata, altrimenti impossibile se la parte d'impianto in oggetto dovesse essere unica o rimanere sempre collegata e in funzione.

Di seguito, sono elencate alcune fra le caratteristiche che rendono applicabile la Manutenzione Programmata ad impianti e macchinari:

- **Periodicità e Tempi d'Intervento Noti e Ben Definiti** - Il programma di manutenzione nasce da esigenze specifiche della macchina, e stabilito dal costruttore con metodi rigorosi ed aggiornato in base alla continua evoluzione ed esperienza sul campo
- **Tutte le Macchine sono Identificate per Numero di Lotto e Serie Produttiva**, in modo da tenere sotto controllo l'avvicinarsi delle varie innovazioni sul prodotto e i loro effetti dal punto di vista della difettosità e manutenibilità risultante
- **Copertura ed Efficacia degli Interventi** - Il programma di manutenzione è completo e ben bilanciato, quindi non esistono aree di scopertura che tralascino parti vitali della macchina sulle quali possano insorgere inconvenienti impreveduti, ne tantomeno gli interventi preventivi appaiono inutili o dettati dall'eccesso di prudenza più che dalla effettiva necessità
- **Campagne di Richiamo per Inconvenienti Fuori Controllo** - Qualora insorgano ripetute segnalazioni di guasti e problemi non previsti dalla normale pianificazione, il costruttore s'incarica di eseguire nuovi interventi operando in garanzia presso i clienti o richiamando gratuitamente il parco macchine soggetto al difetto riscontrato, in particolare se tale difetto investe funzioni di sicurezza del veicolo o del macchinario assistito
- **Check-list di Controllo sui Parametri Operativi** - La verifica dello stato e delle condizioni di esercizio delle parti soggette a usura fa parte della Manutenzione Programmata, da realizzare mediante controlli visivi e strumentali alle scadenze previste; meglio dedicare pochi attimi alla verifica di tensionamento della cinghia di trasmissione dell'albero a camme, che non trovarsi con il motore dell'auto fuori uso a causa della rottura della medesima

Applicazione della Manutenzione a Guasto. È il metodo di manutenzione classico applicato nelle realtà industriali dove molte macchine del medesimo tipo concorrono alla produzione complessiva. Pertanto, il guasto di una singola macchina, determina solo la perdita di una frazione dell'intera capacità produttiva dello stabilimento.

Concorrono all'applicabilità della Manutenzione a Guasto le seguenti condizioni:

- **Macchinari Stabili e Robusti**, con tasso di guasto pressoché costante, casistiche di guasto ormai note e ripetitive, in modo tale che la riparazione dei guasti medesimi risulti un intervento quasi di routine o comunque assimilabile a tipologie comuni
- **Tecnologia Nota e Diffusa**, in modo tale che le parti di ricambio necessarie al ripristino del guasto siano facilmente reperibili, assicurando tempi di attesa brevi o minimi, grazie anche alla presenza di numerosi fornitori esterni
- **Manutentori Esperti e Qualificati**, con approfondita conoscenza dei macchinari in oggetto, che possano intervenire con prontezza e destrezza, operando con tempistiche rapide sui guasti già noti e con ridotti tempi di diagnosi sulle eventuali nuove casistiche che dovessero insorgere
- **Assenza Condizioni di Usura**, per evitare il continuo accumularsi di nuove situazioni di guasto, sempre più catastrofiche e sempre più difficili da eliminare; le risorse umane impiegate nella manutenzione, debbono essere adeguate alle necessità, e non devono comparire elementi di disturbo che richiedano interventi straordinari o fermi macchina prolungati

Applicazione della Manutenzione Migliorativa. Essa si realizza quando si decide, di comune accordo con gli enti di produzione, un fermo macchina per la sostituzione di componenti, parti o interi gruppi di una macchina o di un impianto, caratterizzati dalla perdita delle loro prestazioni originali, per i quali si ritenga necessario un Potenziamento delle Caratteristiche Produttive, eliminando definitivamente le cause continue di guasto e fermo macchina dovute a debolezza intrinseca, usura o malfunzionamento cronico. La sostituzione, può avvenire utilizzando parti di ricambio originali oppure con modifiche migliorative e innovative, per eliminare conclamate debolezze strutturali di parti o componenti difettosi.

Spesso la Manutenzione Migliorativa, si realizza con innovazione tecnologica, quando sul mercato risultano reperibili componenti di nuova generazione, che consentono miglioramenti prestazionali e rinnovamento generale della macchina nel suo complesso. È facile quindi osservare, come la Manutenzione Migliorativa possa costituire la chiave di volta per un balzo poderoso nell'efficienza complessiva di impianti e macchinari, unita a un'elevata riduzione dei tempi di fermo per riparazione, e un conveniente ed economico impiego delle risorse.

Le condizioni necessarie per applicare la Manutenzione Migliorativa risultano essere le seguenti:

- **Ottima Conoscenza Tecnologica dei Macchinari e dei Componenti** - La sostituzione o la modifica di macchine rispetto a configurazioni preesistenti richiede un livello di competenza generale ed elevate capacità di engineering
- **Diffusa Applicazione della Raccolta Statistica dei Guasti** - Consente di pianificare interventi migliorativi solo per i casi realmente necessari, dopo aver valutato attentamente costi e benefici
- **Capacità di Localizzazione dei Gruppi e delle Funzioni Svolte**, per cercare soluzioni modulari e adattabili alle situazioni più comuni, applicando i medesimi criteri di innovazione senza dover tutte le volte “riprogettare” da capo l'intera macchina
- **Capacità di Riconoscimento delle Connessioni e Alimentazioni**, per trovare il metodo più semplice e rapido di “Taglio” dei gruppi da sostituire e il “Ricollegamento” dei gruppi sostituendi
- **Conoscenza Applicata delle Nuove Tecnologie**, per verificare subito quali sono le parti obsolete di un impianto e come si potrebbe migliorarne le prestazioni mediante nuovi componenti e sistemi

## **Metodi Innovativi**

Accanto ai metodi tradizionali di manutenzione, si stanno recentemente imponendo nuovi metodi che tendono a ridurre sempre più gli effetti nefasti della casualità del guasto, cercando sempre più di rendere l'intervento manutentivo deterministico, mirato, ridotto in estensione e durata. Vediamo nello specifico, due tipologie innovative di manutenzione.

Manutenzione Assistita. Si tratta di sistemi centralizzati di gestione della manutenzione, associati a sistemi esperti e di analisi statistica - In pratica, sono registrati sul sistema tutte le macchine e gli impianti dello stabilimento; i PLC e i sistemi di automazione che governano tali macchine e gli impianti sono collegati al sistema per via telematica (cavo, ethernet, wireless ecc.), raccogliendo in tal modo tutti i dati di fermata reali ed effettivi, associati alle relative segnalazioni di allarme. Agli operatori di manutenzione, viene lasciato il compito di registrare i singoli interventi, completando i dati relativi alle parti di ricambio utilizzate (per la contabilità economica) ed eventuali altri dati di diagnosi e tipologia del guasto.

Il sistema, depurando i dati da fermo macchina non attribuibili a manutenzione (festività, ferie, assemblee sindacali, mancanza di alimentazione energetica o altri fermi produttivi), determina i tassi di guasto dei singoli macchinari: se è fornita la scomposizione dei macchinari in gruppi funzionali (FMECA), l'attribuzione delle difettosità raggiunge il livello di gruppi e sottogruppi, individuando rapidamente criticità ed elementi deboli, cause ripetitive di guasto, e suggerendo priorità e statistiche d'intervento.

La registrazione degli interventi precedenti, costituisce inoltre una base-dati comune consultabile in caso di nuovi guasti, fornendo un valido ausilio in termini di ipotesi diagnostiche, cause e condizioni di esercizio che hanno preceduto il guasto medesimo. Fanno parte di questa categoria anche i sistemi di diagnosi elettronica per autoveicoli, nonostante vengano collegati all'auto solo in occasione di una visita dal meccanico per lo scarico di tutti gli allarmi registrati in precedenza. Si noti, come tutti questi sistemi sono spesso collegati "On-Line" con le case costruttrici, in modo da fornire statistiche di difettosità a vasto raggio, diffuse sul territorio e con un enorme parco utenti in grado di riportare dati significativi anche al variare delle condizioni di esercizio.

Esistono anche sistemi di telediagnosi via GPRS (General Packet Radio Service), grazie ai quali la vettura trasmette i dati di esercizio direttamente alla casa costruttrice, la quale provvede ad indicare le scadenze più opportune ai tagliandi di manutenzione, in funzione del carico di servizio effettivo. I sistemi di Manutenzione Assistita, sono validi se continuamente aggiornati con le corrette informazioni diagnostiche e di conseguente riparazione. Nessun sistema esperto è in grado di produrre risultati o suggerire ipotesi in assenza di informazioni adeguate, sufficienti e corrette.

In particolare, diagnosi sbagliate e sostituzioni di componenti non necessarie, possono condurre fuori strada, e suggerire ipotesi di intervento non adeguate o completamente incoerenti.

Manutenzione Sensorizzata. Spesso, i guasti e le fermate sono preceduti da segni "Premonitori", identificatori delle condizioni di usura, che cambiano il comportamento dei macchinari rispetto al normale modo di procedere. Raramente, il cedimento di una parte o di un componente avviene di schianto e senza alcun preavviso; più spesso, si tratta di una serie di condizioni di esercizio anomale, che a loro volta determinano sovraccarichi e situazioni di stress, che infine conducono al guasto. È possibile identificare tali condizioni, mediante il riconoscimento di una "Firma Acustica" costituita dall'insieme di tutti i rumori e le vibrazioni della macchina, che cambiano considerevolmente dal comportamento normale alla situazione precedente al guasto. Opportuni sistemi di sensori come gli accelerometri o le sonde di temperatura e pressione, se vengono distribuiti in modo appropriato sulla macchina tengono sotto controllo il comportamento della stessa, mentre sistemi di analisi vibrazionale (Trasformata di Fourier) calcolano in continuazione lo spettro di emissione acustica della macchina, confrontandolo con i valori standard.

Non appena giochi meccanici e nuove cause di vibrazione innescano rumorosità fuori dal normale, il sistema entra in condizioni di preallarme e fornisce indicazioni sulla zona o sul gruppo dove si stanno generando le condizioni di anomalia. Sono già disponibili in commercio, singoli sensori di vibrazione a basso costo e dotati di capacità di autoapprendimento, che possono essere applicati a motori elettrici, pompe, parti rotanti e mandrini, i quali determinano un segnale di allarme quando la "Rumorosità" del dispositivo sorvegliato si differenzia dall'originale. È evidente come tali dispositivi consentano interventi di manutenzione mirati per sostituire cuscinetti e altre parti meccaniche di usura in tempo utile, e prima che si manifestino danni più gravi che comporterebbero la sostituzione totale del motore, della pompa o dell'intero gruppo meccanico, oppure surriscaldamenti eccessivi che potrebbero determinare principi di incendio.

Occorre applicare questa metodologia con cautela, evitando che eccessive segnalazioni di allarme, inconsistenti con l'effettivo insorgere di anomalie, portino alla tacitazione e alla cancellazione delle segnalazioni medesime, senza più prestare loro attenzione. Questo spesso accade quando è il sensore che si guasta, a causa della sua inadeguata affidabilità e robustezza, che nel caso specifico risultano più critiche rispetto a quelle dell'apparecchiatura che deve controllare.

## **Ingegneria della Manutenzione**

Attraverso la manutenzione, è possibile preservare e conservare un apparato o un impianto il più a lungo possibile, aumentando così la produttività degli impianti e riducendo i costi di produzione. Per attuare una manutenzione efficace, occorre un'ottima preparazione da parte del tecnico che la svolge e una conoscenza approfondita dell'impianto e del processo tecnologico. Le scelte di manutenzione sono legate alla tipologia e alla tempistica dei guasti, nonché alle valutazioni di tipo economico degli impianti. A metà del secolo scorso, la manutenzione e la produzione operavano in modo distinto, attualmente invece sono interconnesse.

Oggi, la manutenzione è già presente nel momento della progettazione, costruzione e installazione dell'impianto, per essere certi che durante il suo funzionamento siano consentiti i controlli e le revisioni. Gli atti manutentivi proseguono con la "Messa a Punto" dell'impianto, che precede la messa in funzione e, infine, con la conduzione dell'impianto.

Progettare la manutenzione per i vari momenti successivi di vita di un impianto o apparato, è compito dell'Ingegneria della Manutenzione, che utilizza teorie e tecniche per conoscere l'evoluzione del sistema che si deve mantenere, al fine di ottenere un miglioramento continuo. Coloro che si interessano dell'Ingegneria della Manutenzione non hanno il compito operativo della manutenzione, ma si impegnano a coordinare:

- **La Progettazione della Manutenzione**
- **Il Controllo Tecnico ed Economico**
- **La Promozione e Gestione del Miglioramento Continuo**

## **Esempio Applicativo**

L'Impianto Chimico. In un'industria chimica, operante nel settore del recupero, raffinazione e riutilizzo degli oli esausti, l'impianto di trattamento dispone (oltre alle torri di raffinazione per "cracking termico") di uno scambiatore di calore attraverso il quale viene recuperata l'energia spesa nella combustione, riutilizzandola per il preriscaldamento dell'olio sporco ancora da raffinare.

Purtroppo, sempre più spesso capita che gli oli esausti contengano anche stracci, bulloni, residui di guarnizioni, che intasano i condotti degli scambiatori di calore, riducendo in progressione il rendimento dell'impianto, sia dal punto di vista termico sia dal punto di vista della portata e del flusso di olio residuo, in quanto anche le giranti delle pompe si usurano rapidamente per attrito e urto contro parti impreviste. Quando il livello di intasamento viene superato, e la portata scende al di sotto di determinati limiti, viene a mancare la quantità di olio sufficiente per mantenere attive le stesse reazioni chimiche di "cracking", e l'impianto deve essere fermato.

La sostituzione degli scambiatori e delle pompe, ancorché prevedibile in anticipo grazie a strumenti di rilevazione di portata e di potenza elettrica assorbita (rilevazione continua), richiede comunque tempi di fermo impianto considerevoli per lo smontaggio e il ripristino in sito di scambiatori di calore e pompe. L'impianto è già dotato di filtri centrifughi con scarico automatico che bloccano le parti più grossolane, ma non è possibile applicare filtri più fini che si intaserebbero ancor prima, peggiorando ulteriormente la situazione: tale soluzione

risulterebbe impraticabile, in quanto richiederebbe comunque la fermata dell'impianto per la sostituzione delle cartucce dei filtri intasati. Si tratta quindi di un problema di Ingegneria della Manutenzione, per il quale occorre prendere decisioni operative semplici, rapide e funzionali, aumentando la disponibilità totale dell'impianto ed evitando le fermate conseguenti all'inconveniente lamentato. Si decide quindi di procedere operativamente, aumentando la ridondanza dell'impianto, ottenuta montando in parallelo due scambiatori di calore e duplicando le pompe di ricircolo dell'olio esausto. Opportune valvole in scambio, selezioneranno quale dei due circuiti sia di volta in volta operativo, lasciando l'altro disponibile per ogni evenienza. In tal modo, lo smontaggio e la sostituzione degli scambiatori intasati o delle giranti delle pompe usurate possono avvenire con tranquillità, mentre tali componenti risultano esclusi e separati dall'impianto, che nel frattempo è operativo e funzionante utilizzando gli elementi duplicati; non risulta neanche più necessario approvvigionare preventivamente i componenti di sostituzione, in quanto l'operazione avviene in tempo mascherato.

È possibile quindi procedere al recupero e alla riattivazione fuori linea degli scambiatori intasati e sostituiti, avviando la disotturazione e consentendo il ripristino dei condotti ostruiti con una lavorazione al banco.