

ANALISI PREDITTIVA DELLE MACCHINE

Il ciclo di vita di una macchina, specialmente nei regimi tecno-economici di alta competitività, assume un ruolo sempre più importante nei bilanci aziendali.

Ecco quindi che concetti come manutenzione e prevenzione guasti vanno considerati e analizzati fin dalla progettazione della macchina.

I GUASTI

L'insorgere di un guasto inteso come l'evento di cessazione dell'attitudine di un'entità a svolgere la specifica funzione richiesta può portare intensi sperperi di denaro che un buon amministratore deve cercare di prevedere e ridurre al minimo possibile.

Oltre al danno economico per la sostituzione del componente danneggiato si hanno una serie di costi indiretti quali :

- mancata produzione e/o erogazione del servizio
- scarsa qualità del prodotto
- riduzione dei volumi di produzione
- ritardo nelle consegne
- ecc.

Durante il ciclo di vita di una macchina si possono verificare diverse tipologie di guasto (vedi fig.1).

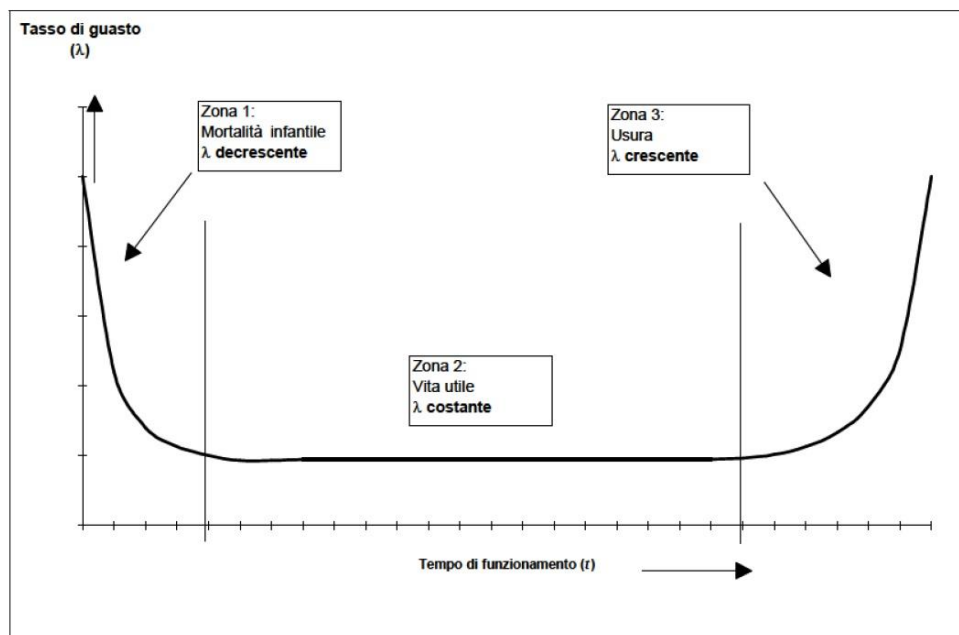


Fig.1 Curva Tasso di Guasto-Tempo di Funzionamento

Guasti infantili sono in gran parte dovuti alla inadeguatezza delle tecniche di costruzione e di controllo della qualità durante il processo di fabbricazione dei componenti, solitamente si possono eliminare mediante il processo di "rodaggio".

Guasti per usura si verificano soltanto se l'apparato non è sottoposto a perfetta manutenzione. Nota la distribuzione statistica dei guasti per usura è possibile calcolare per via matematica la probabilità di guasto per usura a qualsiasi età del componente. E' possibile quindi stabilire i periodi di revisione e di sostituzione preventiva.

Guasti casuali particolari guasti che nessun tipo di rodaggio, per quanto accurato ne alcuna manutenzione, possono eliminare. Sono provocati da improvvisi accumuli di sollecitazioni oltre alla resistenza massima di progetto. Si verificano a intervalli casuali in maniera improvvisa del tutto inaspettata.

La miglior cosa che si può fare durante il periodo di vita utile è sostituire componenti appena si guastano ed effettuare una sostituzione preventiva dei componenti poco prima del termine del ciclo degli stessi.

Risulta quindi fondamentale prevedere un piano dettagliato di manutenzione preventiva per ridurre al minimo la probabilità di guasto.

MANUTENZIONE

Nel corso degli anni il termine manutenzione ha subito diverse mutazioni e cambiamenti, tradizionalmente la manutenzione nasce con questi due obiettivi principali:

- ripristinare le funzionalità interrotte in seguito l'insorgere di guasti
- impedire o limitare l'insorgere di guasti che impattano sulle funzionalità del sistema.

Attualmente l'obiettivo riconosciuto dalla manutenzione è quello di massimizzare la vita utile della macchina con il minimo costo globale ciò si traduce nella riduzione della durata e della frequenza dei guasti.

La progettazione di una macchina deve quindi tener conto del tipo di manutenzione cui sarà soggetta; se il manutentore è attrezzato e formato ad operare in maniera predittiva, allora la macchina deve permettere l'inserimento della strumentazione per rilievi oppure addirittura integrarla a bordo macchina.

In questo contesto si può parlare di *manutenzione su condizione* (Condition Based Management CBM) che costituisce un'alternativa rispetto alla programmazione di interventi a determinate

scadenze temporali essendo dinamicamente legata alla conoscenza dello stato attuale del sistema.

Il risultato atteso è un aumento della disponibilità e della sicurezza del sistema e una diminuzione dei costi. Infatti si procede sempre ma solo quando necessario con l'intervento manutentivo in presenza di evidenze di un prossimo guasto critico. Per far ciò occorre predisporre di diverse tecnologie:

- per il monitoraggio dello stato della macchina delle condizioni ambientali in cui lavora
- per l'elaborazione dei segnali ricevuti
- per l'information and Communication Technology ossia la remotizzazione dei dati il telecontrollo e la tele-manutenzione.

Oltre alle informazioni sullo stato attuale di un componente o sistema, la manutenzione su condizioni richiede:

- la conoscenza delle modalità di guasto e dei fenomeni di degrado
- il monitoraggio delle condizioni di esercizio esercizio
- la tempestiva rivelazione identificazione delle condizioni di guasto, degrado e per guasto
- la capacità di predire la vita utile residua a partire da risultati di monitoraggio.

MONITORAGGIO DEI FATTORI CRITICI

La manutenzione su condizione necessità di conoscere lo stato attuale in cui la macchina lavora. Occorre quindi analizzare tutti i fattori che possono portare ad un degrado delle prestazioni dei componenti costituenti la macchina per poter intervenire in tempo utile.

MTTF

Il MTTF (Mean Time to Failure) è un parametro molto importante per la scelta dei componenti e indica il tempo medio di funzionamento prima che si verifichi un guasto dello stesso.

Per tutti i componenti elettromeccanici, idraulici e meccanici soggetti a usura (es.: elettrovalvole relè ecc.) il tasso di guasto aumenta con il numero di cicli lavorati, pertanto la loro affidabilità non viene riferita al tempo per cui hanno lavorato ma bensì dal numero di cicli effettuati, si parla in questo caso di *B10*, e viene espresso il numero di manovre dopo il quale si verificano guasti nel 10% dei componenti esaminati durante una prova della durata di esercizio sotto carico specificato.

Questi parametri devono essere monitorati per poter informare l'utilizzatore/manutentore della necessità di effettuare la sostituzione preventiva del componente e prima dell'insorgere di un possibile guasto d'usura.

Ecco quindi che scegliere in fase di progettazione componenti con un MTTF B10 elevato può portare ad un allungamento dei tempi di manutenzione preventiva.

CONDIZIONI DI ESERCIZIO

Di fondamentale importanza risulta essere il monitoraggio delle condizioni di esercizio della macchina. I parametri forniti dai costruttori dei componenti si riferiscono sempre a test effettuati in determinate condizioni di lavoro (temperatura, umidità ecc.). Nel caso di apparati elettronici ad esempio si considera indicativamente un dimezzamento del MFTT ad ogni innalzamento di 10 gradi della temperatura (equazione di Arrhenius).

In fase di progettazione della macchina occorre prevedere l'installazione di opportuni trasduttori di temperatura (termocoppia, termoresistenze al platino pt100) energetici per mantenere la temperatura di esercizio ottimale. Questi segnali vengono integrati a bordo PLC o in apposite schede e successivamente elaborati per opportune funzioni di regolazione della temperatura.

Nel caso di macchine pneumatiche o oleodinamiche è necessario predisporre appositi sensori di pressione per verificare che esse rientrino entro i valori ottimali.

Molto importante risulta essere anche l'analisi della qualità dell'energia elettrica fornita alla macchina mediante l'utilizzo di analizzatori di rete per la misura del tasso di distorsione armonica per l'analisi delle asimmetrie, sbilanciamento delle fasi agevolano l'identificazione di sovraccarichi della rete di distribuzione e contestualmente di poter prevenire eventuali guasti al funzionamento dell'impianto elettrico.

Le vibrazioni meccaniche e il rumore acustico generato rappresentano segnali di informazioni preziosi per una manutenzione predittiva. L'usura delle parti rotanti e striscianti genera variazioni nel regime vibratorio e in quello acustico. L'analisi delle vibrazioni, in qualche caso correlata con la fonometria, permette di individuare la modifica di uno stato.

In fase di progettazione occorre quindi prevedere sistemi di misura delle grandezze nei punti in cui i rischi di questo genere possono insorgere più frequentemente.

Questi sono alcuni esempi di monitoraggio delle condizioni di lavoro della macchina, a seconda della tipologia di lavorazione e dei componenti costituenti occorre fare un'analisi dettagliata dei possibili guasti critici ed inserire opportuni sistemi di rilevamento ed elaborazione dati.

Analisi Vibrazionale

L'analisi vibrazionale che sta alla base dei metodi CBM è diventata la tecnica predominante per valutare lo stato operativo dei macchinari e delle loro parti in movimento. In questo approccio, gli ingegneri industriali analizzano le misurazioni delle vibrazioni per identificare modelli che indicano squilibri, disallineamenti o danni a rotori, ingranaggi, cuscinetti e a qualsiasi altra interfaccia meccanica tra i componenti della macchina. Ad esempio, i modelli ripetuti di vibrazioni ad alta ampiezza possono essere un sintomo di eventi di shock meccanico dovuti a frizioni, ingranaggi, cuscinetti, piste di cuscinetti o altre superfici a contatto con la macchina, danneggiati o usurati. Oltre a questa misurazione delle vibrazioni nel dominio del tempo, tuttavia, la misurazione nel dominio della frequenza mediante l'analisi con la trasformata di Fourier (FFT) può fornire dettagli ancora più specifici sullo stato della macchina. Usando questo approccio si possono trovare diversi indicatori affidabili relativi alla frequenza di difetti come lo squilibrio, il disallineamento, l'allentamento e i difetti dei cuscinetti.

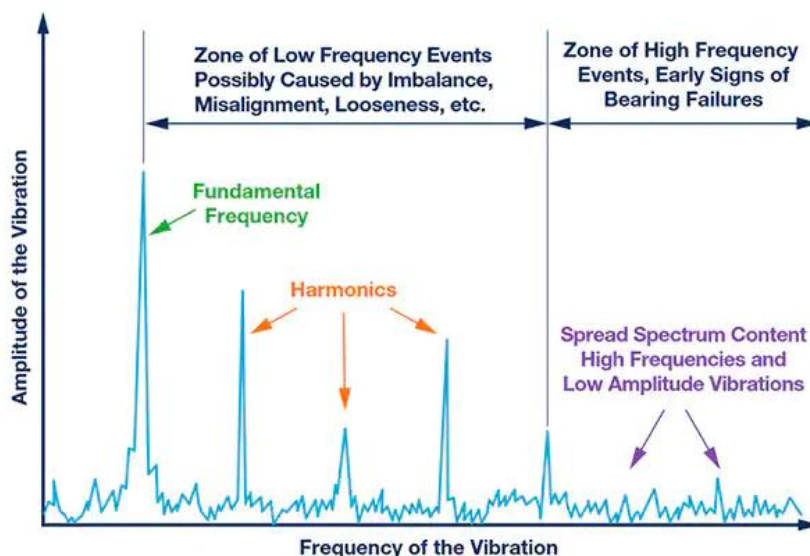


Fig.2 Misurando la grandezza assoluta e relativa dei picchi nel dominio della frequenza, si possono dedurre un'ampia gamma di problemi attuali e potenziali dei macchinari, che vanno dallo squilibrio dei componenti della macchina ai guasti dei cuscinetti. (Fonte: Analog Devices)

Tra questi indicatori, le variazioni della frequenza fondamentale, detta anche componente 1x, rispetto alle sue armoniche e alle misurazioni 1x precedenti della linea di base, possono indicare uno squilibrio nella macchina, riflesso in un segnale la cui ampiezza è proporzionale al quadrato della velocità di rotazione e la cui frequenza corrisponde a quella di rotazione o di risonanza della macchina. Per contro, disallineamenti o allentamenti tra le parti di una macchina causano un

aumento caratteristico nella prima armonica, detta anche componente $2x$, e anche nei componenti di frequenza fino a $10x$. Allo stesso modo, parti interne sbilanciate, disallineate o danneggiate come gli ingranaggi, provocano picchi più elevati a frequenze correlate alla loro velocità di rotazione e al numero di denti.

Uno dei problemi che si incontrano comunemente in una macchina rotante è il guasto di un cuscinetto a sfere. L'analisi spettrale dei dati da un accelerometro posto vicino al cuscinetto rivela una serie di linee caratteristiche, ampiezza e frequenza che dipendono dalla velocità di rotazione e dal origine del difetto. Le frequenze caratteristiche del sistema che possono essere menzionate includono:

- la frequenza di rotazione della gabbia del cuscinetto

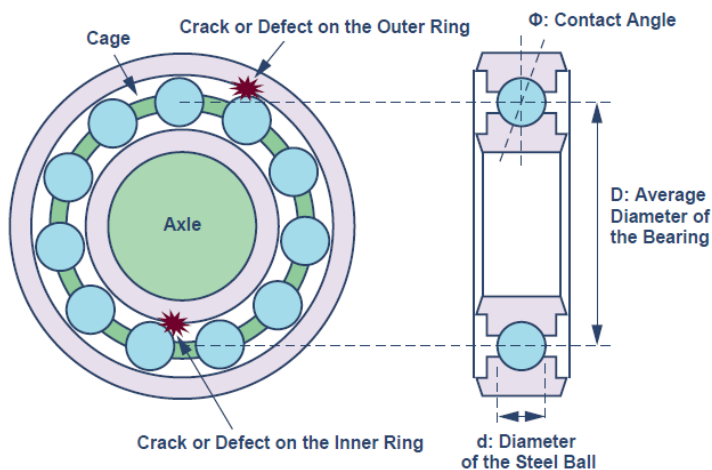
$$f_{cage} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D} \cos(\phi) \right) \times f_{axle}$$

- la frequenza relativa ad un difetto sull'anello esterno

$$f_{ext} = N \times f_{cage}$$

- La frequenza relativa ad un difetto dell'anello interno

$$f_{int} = N \times (f_{axle} - f_{cage})$$



N: number of balls
 Φ : contact angle
 f_{axle} : rotation frequency of the axle
d: ball diameter
D: Average diameter of the bearing

Fig.3 Cuscinetto a sfera (Fonte Analog Device)

Oltre a queste frequenze caratteristiche, comunque, l'onda d'urto provocata dal passaggio di una sfera su un qualsiasi difetto provoca una vibrazione ad alta frequenza (>5 kHz) che a volte può essere anche udibile.

ELABORAZIONE DATI

L'insieme delle informazioni acquisite sullo stato della macchina devono essere elaborate e processate da un sistema di calcolo. Occorre, quindi, che ogni dispositivo di rilevazione presente in macchina sia collegato ad un sistema di elaborazione dati locale o remoto.

Per avere il quadro completo sullo stato della macchina il sistema di elaborazione deve monitorare costantemente il numero di cicli effettuati dalla macchina e le ore di lavoro. Queste informazioni sono indispensabili per poter effettuare una funzione preventiva dei componenti in base ai tuoi valori MTTF / B10.

Tutti questi dati vengono gestiti ed elaborati da algoritmi predittivi, basati sull'intelligenza artificiale (AI), e contribuiscono alla determinazione dei possibili futuri guasti segnalando tempestivamente il componente o il sottosistema interessato. Essi forniscono una più sensibile e pronta determinazione della probabilità che il guasto avvenga rispetto alle tecniche tradizionali adattandosi a inusuali condizioni di utilizzo.

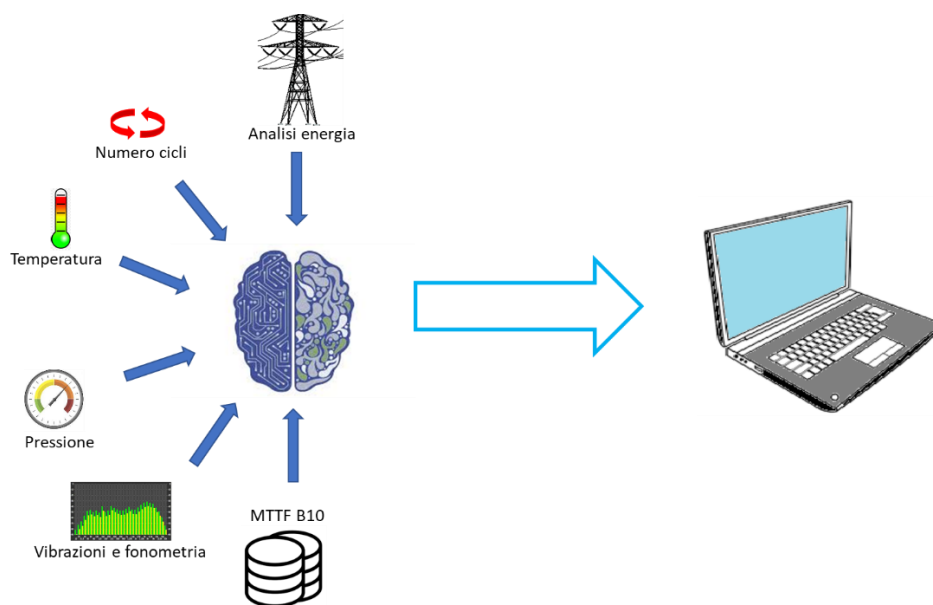
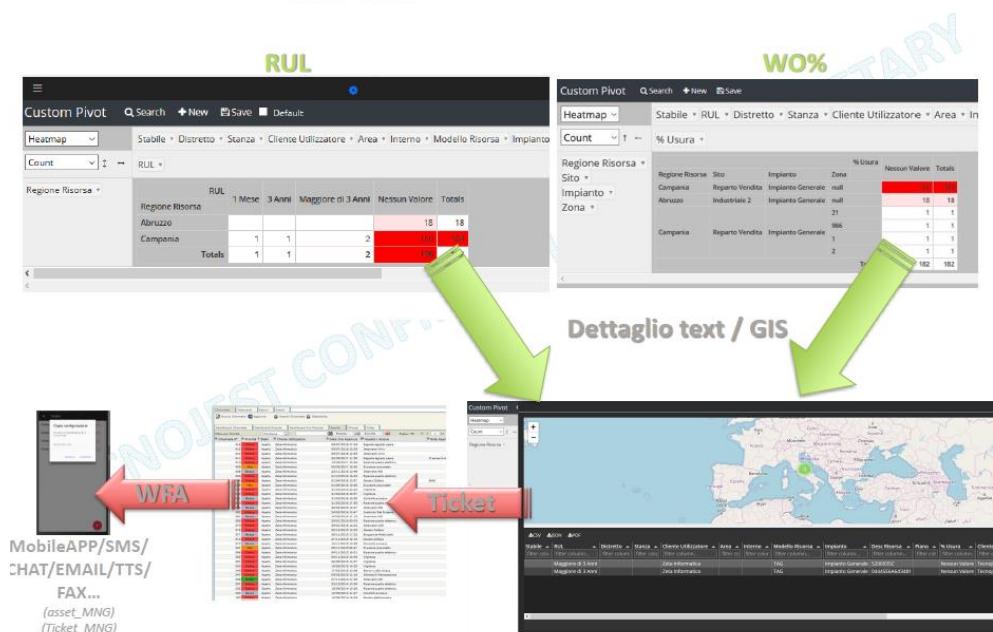


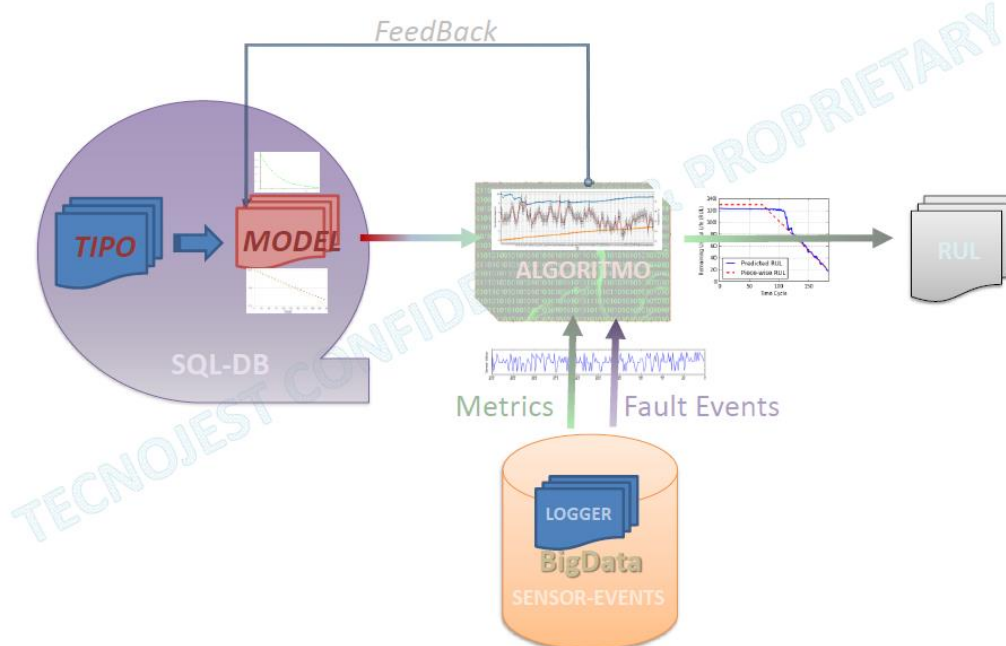
Fig.4 Disegno riassuntivo flusso dati del sistema di analisi predittiva

La raccolta dati, il data base componenti e la gestione guasti vengono gestiti dalla piattaforma O²IP sviluppata da Tecnojest srl.

ANALISI RUL and WORN-OUT



Calcolo Predittivo RUL



MANUTENZIONE CONTRO SOSTITUZIONE

L'introduzione della manutenzione predittiva porta sicuramente a dei miglioramenti dell'affidabilità della macchina, ma, d'altro canto, comporta un rincaro del costo della macchina che deve essere valutato caso per caso.

Possiamo classificare le macchine in due macrocategorie:

- **macchine non critiche** sono quelle caratterizzate da semplicità costruttiva da facilità di manutenzione o marginalità di utilizzo il contesto produttivo, per le quali può essere sufficiente e conveniente adottare una politica di attesa del guasto (manutenzione correttiva). in tal caso la loro eventuale messa fuori servizio non implica problemi nel processo produttivo, né alla qualità del prodotto.
- **macchine critiche** sono quelle sulle quali è necessario concentrare gli sforzi per imitare guasti e fermate non previsti perché incidono direttamente e drasticamente su quantità e qualità del processo produttivo. Per esse è necessario adottare tecniche preventive e, quando possibile, predittive.

Un altro fattore importante che aiuta nella scelta di adottare una manutenzione predittiva o meno è l'inevchiamento tecnologico. Caso per caso va valutato se al termine del periodo di vita utile della macchina vale la pena sostituire il componente usurato e se è meglio sostituire l'intera macchina con una più performante che consente di ottenere risultati migliori con tempi e costi inferiori.

SOLUZIONE PROPOSTA

Studiare e individuare, insieme al committente, le sezioni critiche della macchina da sottoporre all'analisi predittiva per l'installazione dei nodi sensori e contestualmente costruire il database dei componenti.

Per un periodo di circa 4 mesi , durante il normale funzionamento della macchina, si prelevano tutti i parametri e le condizioni di esercizio per l'aggiornamento in tempo reale del MTTF-B10 di ciascun componente ed iniziare a costruire ed addestrare il modello predittivo. Finito tale periodo viene rilasciato il sistema.