

Manutenzione predittiva sui motori elettrici

Implementazione di un piano preventivo/predittiva in un sito industriale

Gianmarco Montanari
Yara Italia

Implementazione del piano di monitoraggio

La vita di un motore elettrico è un argomento critico quando si parla di manutenzione predittiva cioè la domanda che ci si pone sempre è quando avverrà un guasto elettrico del motore?

Visto che la percentuale delle rotture accidentali dei motori elettrici nel sito industriale risulta essere per il 70% imputabile a difetti elettrici si è deciso di affiancare al piano di monitoraggio delle vibrazioni un piano di controllo mirato all'individuazione di difetti elettrici.

Sulla base delle analisi di pareto dal 2000 al 2005 si è ipotizzato ad un anno dall'attuazione del piano di monitoraggio di avere un aumento della produttività del 1% della durata di un anno (miglioramento sull'Uptime del 1%).

Come primo step sono stati individuati i percorsi di monitoraggio da implementare sulla base della criticità delle apparecchiature utilizzando una matrice di criticità (vedi schema 1).

Si è poi definito, per permettere una comprensione immediata da parte dell'utente finale (impianto) della gravità del difetto riscontrato, una scala di colori alla quale corrisponde un'azione prefissata:

✓ verde: macchina ok

✓ giallo: monitorare raddoppiando la frequenza di controllo

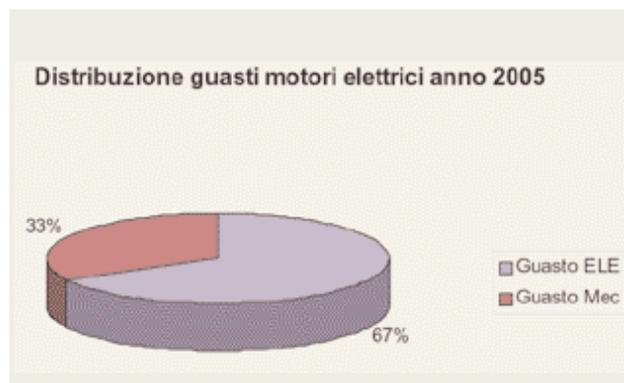


Fig. 1 Distribuzione delle tipologie di guasto dei motori elettrici

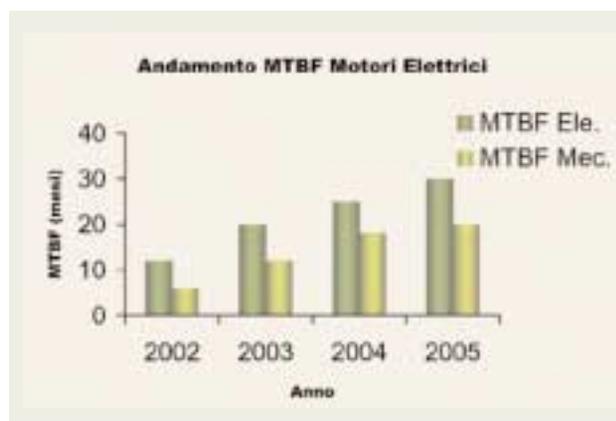


Fig. 2 Andamento degli MTBF negli anni

✓ rosso: programmare riparazione/sostituzione della macchina

Tali risultati sono riportati in una modulistica che funge da certificato di analisi per l'impianto (vedi schema 2).

Le frequenze di monitoraggio sono state fissate in annuali definite in base all'MTBF dei guasti esclusivamente considerati elettrici

Si è deciso di adottare due metodologie di analisi:

1. Misure elettriche statiche (MCE)
2. Misure elettriche dinamiche (MCSA)

1. Misure elettriche statiche

La causa primaria di guasto di un avvolgimento un motore elettrico sono i corto circuiti. Tale fenomeno può avvenire tra i cavi di una spira, tra le spire di una singola fase e tra le spire in fasi differenti.

Il guasto può essere causato da condizioni ambientali e termiche non ottimali (sovraccarico, alta temp. Umidità, cattiva pulizia, ecc.) o da problemi meccanici e/o elettrici (vibrazioni, sbilanciamenti, stress dielettrico ecc.).

Comunque sia tutte queste cause di danno hanno un fattore in comune, cioè quando si manifestano si ha una variazione delle proprietà resistite e capacitive dell'isolamento elettrico.

Il danneggiamento di un motore elettrico a seguito di quanto detto sopra si può schematizzare in 3 fasi:

	DOMANDA	RISPOSTA	DOMANDA	RISULTATO
SICUREZZA ECONOMIA AMBIENTE	Gas o liquidi esplosivi o altamente infiammabili	Si		Critica
	No			
	Gas o liquidi tossici o altamente corrosivi	Si		Critica
	No			
SICUREZZA DEL PERSONALE	Esercizio di gas o liquidi a temperature superiori il punto di ebollizione a pressione atmosferica e P x V o P x D > 2000	Si		Critica
	No			
	Gas asfissianti in fosse o locali chiusi	Si		Critica
	No			
AMBIENTE	Se la rottura si verifica ci saranno gravi danni alle persone	Si		Critica
	No			
AMBIENTE	una possibile emissione può oltrepassare i limiti di legge	Si	Il liquido/gas va ad un impianto di abbattimento	No
	No		Si	
ECONOMIA	Se il guasto si verifica ci sarà un blocco di impianto o danni agli equipaggiamenti principali	No		Non-critica
	Si			
	Tempo di fermata > di 12 ore. Danni alle apparecchiature >10400€	Si		Critica
	No			
ECONOMIA	Tempo di fermata > di 2 ore. Danni alle apparecchiature >2600€	Si		Importante
	No			Non-critica

Schema 1 *Matrice per la determinazione della criticità*

● Fase1. l'isolamento tra i conduttori in condizioni di stress presenta dei valori differenti delle grandezze capacitive e resistive nel punto danneggiato, si ha quindi un aumento della temperatura localizzato con conseguente carbonizzazione dell'isolamento in quel punto. Tale carbonizzazione va a variare i valori rilevati di angolo di fase e I/F.

● Fase2: Il punto danneggiato diviene sempre più resistivo e si crea un'induttanza tra la parte sana dell'avvolgimento ed il corto. Si ha quindi un maggiore aumento della temperatura e veloce carbonizzazione dell'isolamento nel punto di corto. A questo punto il motore si ferma ma poi riparte dopo un tempo di raffreddamento.

● Fase 3: l'isolamento si rompe completamente e l'energia sprigionata attorno al punto di corto causa una rottura esplosiva sull'isolamento e la vaporizzazione degli avvolgimenti. In tale fase l'induttanza e la resistenza possono individuare il danno.

E' stato fatto un punto zero per le apparecchiature sotto controllo e monitorate secondo le frequenze prestabilite le seguenti grandezze elettriche per ogni fase del motore :

- ✓ Resistenza R
- ✓ Induttanza Z
- ✓ Impedenza L
- ✓ Angolo di fase Fi
- ✓ Risposta di frequenza: riduzione % della corrente di una spira quando la frequenza è raddoppiata.
- ✓ Isolamento

Una variazione nel tempo dei valori rilevati viene considerata indicazione di guasto secondo la seguente tabella:

Tabella 1 - Grandezze misurate con MCE e gravità del guasto

Letture	Variazione dal valore di riferimento	Codice di gravità
R,Z,L	< 3%	Verde
R,Z,L	> 3% e <5%	Giallo
R,Z,L	< 5%	Rosso
Fi,I/F	< 1 pt	Verde
Fi,I/F	> 1 pt e < 3 pt	Giallo
Fi,I/F	> 3 pt	Rosso

2. Misure elettriche dinamiche (MCSA)

L'analisi dello spettro della corrente assorbita risulta essere uno strumento eccellente per individuare danni della parte rotorica del motore, utilissima per identificare con esattezza il guasto di un motore elettrico; infatti spesso si registrano con MCA problemi agli avvolgimenti dello statore e non si pensa che possano essere stati causati dal malfunzionamento del rotore.

I difetti elettrici tipici che si possono individuare sono:

- ✓ Danno alle barre rotoriche
- ✓ Eccentricità statica/dinamica
- ✓ Sbilanciamento corrente di alimentazione/corti interspira

Il segnale di corrente di un motore elettrico idealmente è una perfetta onda sinusoidale a 50Hz rappresentabile nel dominio del tempo; utilizzando software mediante la trasformata di Fourier si ottiene la rappresentazione del

segnale di corrente nel dominio della frequenza (fig.3).

L'ampiezza del picco in frequenza è uguale all'ampiezza (velocità di rotazione del motore) della sinusoide; in questo caso teorico vedremmo un unico picco alla frequenza del motore.

Durante l'esercizio però sono presenti svariate armoniche nel segnale della corrente a frequenze che hanno un legame con la velocità di rotazione del motore (fig.4).

Tutti i difetti causano una variazione nella distribuzione interna del flusso del campo magnetico, generando le armoniche.

Tali armoniche non possono essere determinate con un analizzatore standard di armoniche ma con un analizzatore FFT corredato da un sensore toroidale per l'acquisizione dello spettro di corrente; tali armoniche che sono state generate compaiono solo nello spettro della corrente non in quello della tensione.

L'analisi dello spettro viene eseguita a basse frequenze da 0-200 Hz.

✔ Difetti alle barre rotoriche: tali irregolarità presentano delle vibrazioni alla frequenza di inseguimento $SF \times \text{Numero dei poli} = PPF$; si avranno quindi dei picchi alla frequenza di linea $FL \pm PPF$. (fig.5)

Per esempio in un motore a due poli, ogni barra rotorica è allineata con il polo magnetico rotante creato dallo statore nella misura di due volte ogni ciclo di inseguimento. Cioè in un motore a 2900 rpm la velocità sincrona è 3000 rpm (120xfrequenza di linea FL/NP) e la velocità di inseguimento (SV) è data da $3000-2900=100$ rpm; il ciclo di inseguimento sarà $3000/100=30$ cioè ogni 30 giri del rotore la stessa barra rotorica sarà allineata con la stessa polarità del polo magnetico rotante.

La frequenza di inseguimento $SF = SV/FL$

		RAPPORTINO DI PREDDITIVA		Percorso:
Codici di controllo:		Operatore:		
Codice Verde:	Macchina OK	Reparto: Ing.di Manutenzione		
Codice Giallo:	Tenere Monitorata	Tel:		
Codice Rosso:	Programmare Sostituzione	Firma:		
Apparecchiatura:	Pos.	Cod.	Note	
Commenti				

Schema 2 Rapporto di analisi predittiva

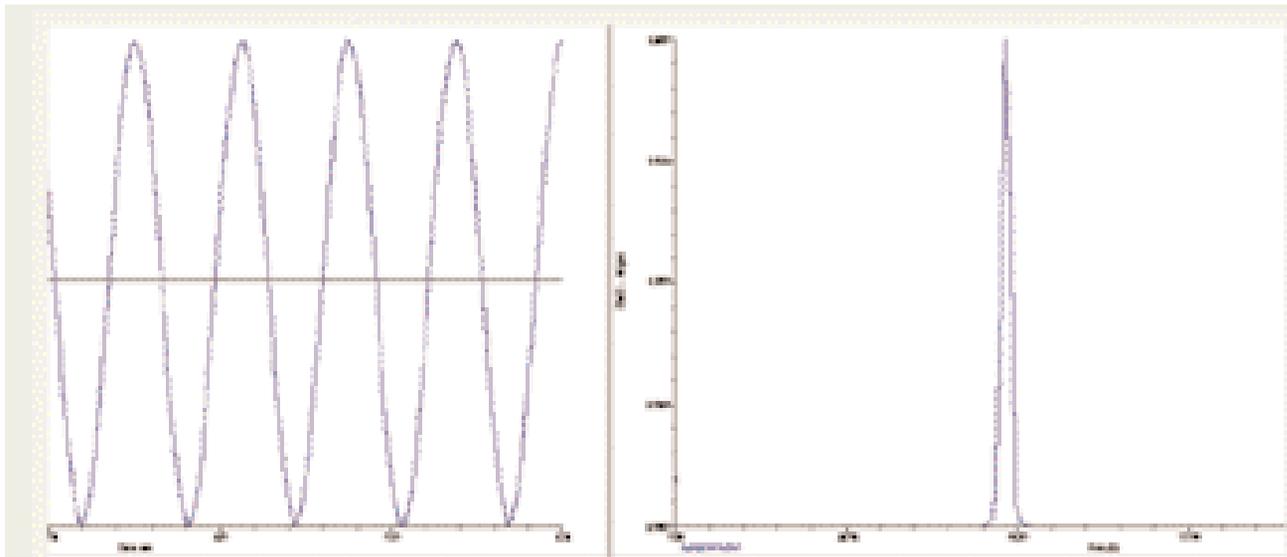


Fig. 3 Segnale di corrente di un motore elettrico nel dominio del tempo e della frequenza

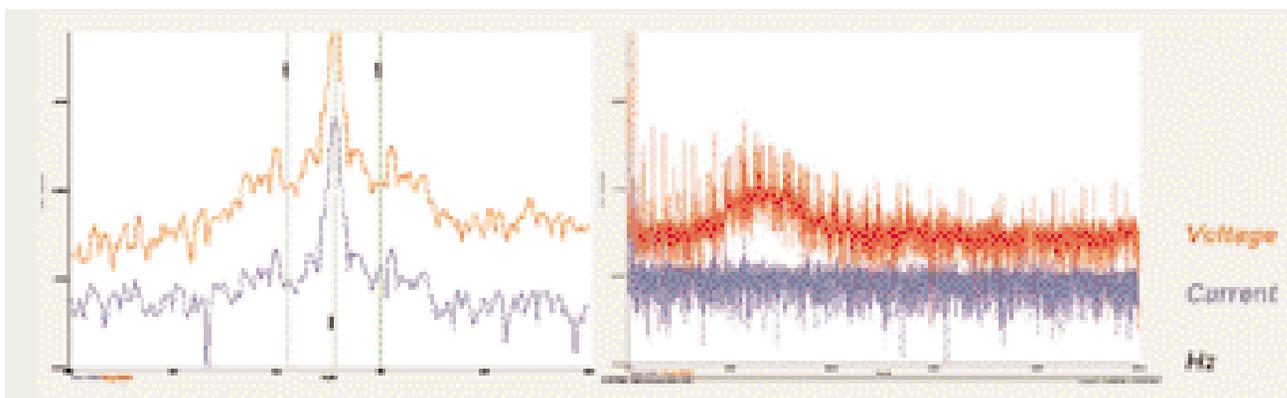


Fig. 4 Segnale di corrente di un motore elettrico durante l'esercizio

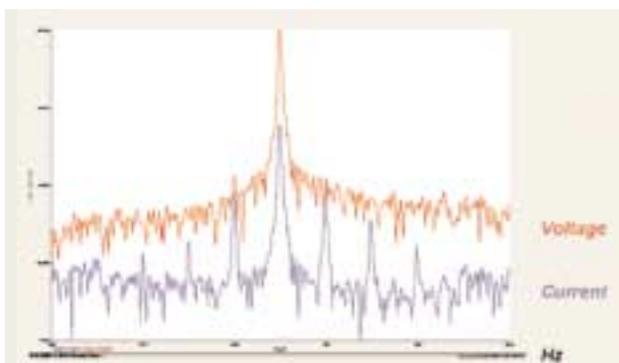


Fig. 5 Segnale di corrente di un motore elettrico con difetti alle barre rotoriche

Se una delle barre ha una resistenza maggiore delle altre a causa di una cricca o rottura si avrà meno corrente indotta su di essa quando si allinea con i poli e quindi si produce in quel punto anche una coppia minore, provocando vibrazioni alla frequenza PPF.

La differenza in ampiezza tra il picco della frequenza di linea e le bande della PPF è indicazione della salute delle barre rotoriche (il valore è dato in dB); anche per que-

sta grandezza è stato adottato un sistema di codice di gravità a colore

✓ Eccentricità statica/dinamica: è un fenomeno dovuto ad un gap costante (statica) o variabile (dinamica) di aria tra statore e rotore.

Si manifestano dei picchi alla frequenza di passaggio delle barre e appare come bande alla frequenza di linea e alle sue armoniche.

$$SE = RB \times RS \pm n FL$$

$$SD = RB \times RS \pm n FL \pm RS$$

Dove RB= num. Barre rotoriche

RS= velocità rotazione del motore

FL= frequenza di linea

Tabella 2 - Grandezze misurate con MCSA e gravità del guasto

Letture eseguita	Valore rilevato (dB)	Codice di gravità
AFL-APPF	> 54 dB	Verde
AFL-APPF	> 40 e < 54 dB	Giallo
AFL-APPF	< 40 dB	Rosso

N= armoniche presenti della frequenza di linea

✓ Sbilanciamento della corrente di alimentazione: lo sbilanciamento della corrente di alimentazione causa un aumento della temperatura del motore e degradazione degli avvolgimenti dello statore.

Al variare della corrente di alimentazione compare un picco alla frequenza di linea più il numero di poli moltiplicato per la velocità di rotazione diviso 2:

$$(FL + N^{\circ} \text{ Poli}) \times RS/2 .$$

Bibliografia

- ✓ Determining Rotor bar condition using motorview
Autore: Emerson process management/CSI
- ✓ Principles of flux diagnostic
Autore: Emerson process management/CSI
- ✓ The difference between motor vibration and electrical data
Autore: Emerson process management/CSI
- ✓ Motor circuit analysis: Theory, applications and energy analysis
Autore: Penrose, Dr. Howard W.
- ✓ On line condition monitoring of motors using electrical signature analysis
Autore: Aditya Corde B.E.



L'articolo è tratto dal Project Work che l' Ing Gianmarco Montanari ha realizzato come prova d'esame durante la partecipazione al Master Maintenance Manager di Festo Academy.

Ing. Gianmarco Montanari nato a Forlì il 7/4/72 ha conseguito nel 1997 la laurea in Ingegneria Chimica presso l'università di Bologna. Ha conseguito il diploma di Master "Maintenance Manager" con Festo nel 2005. Ha conseguito la specializzazione in prevenzione incendi D.M. 25.03.85 nel 2005. Ha lavorato presso il Gruppo Eradania-Be-



gin Say come resp. di Processo, resp. Produzione, resp. Manutenzione e RSPD presso gli stabilimenti di P.to Corsini, P.to Marghera e Ancona. Attualmente lavora presso la Yara italia spa come resp. delle manutenzioni presso lo stabilimento di Ravenna ed è Coordinatore Italia per la manutenzione sistematica.

l'Autore