

M

TECNICA E MANAGEMENT

Manutenzione

 A.I.MAN. Associazione Italiana Manutenzione



Manutenzione Preventiva



**EURO
MAINTENANCE**
VERONA - 12-14 Maggio 2010
Official Media Sponsor

Scopri
a pag. 23
guida Acquisti
**Fluid
Engineering**

La diagnostica di impianti industriali
Manutenzione predittiva per Data Center
Affinità tra Facilities Management e Manutenzione

Thomas Industrial Media srl - Spedizione in abbonamento postale - 45% Art. 2 comma 20-B legge 662/96 - Milano - Tasse per posta (Quota pagata) Milano Corp. Postale

La diagnostica di impianti industriali

Un approccio per l'introduzione di Prove non Distruttive nei piani di manutenzione. Il caso applicativo della termografia

Ing. Sergio Cerciello
Area Ingegneria, SIMAV Spa
Ing. Carmine D'Auria
Ufficio Tecnico, SIMAV Spa

Si illustrano di seguito i risultati ottenuti introducendo la termografia nei piani di manutenzione, quindi tra le attività manutentive di struttura, del ciclo produttivo di uno Stabilimento Industriale in cui la SIMAV appartenente al gruppo SIRAM Spa gestisce la manutenzione degli impianti di produzione e degli impianti generali. Parallelamente all'introduzione delle analisi termografiche nell'insediamento industriale considerato è stato messo a punto un approccio tecnico/economico con una valenza più generale utilizzabile per qualsiasi altra Prova non Distruttiva voglia essere adottata in quel contesto.

Approccio tecnico / economico per l'introduzione di Prove non Distruttive

La tendenza dell'evoluzione dei servizi di manutenzione in contesti industriali è considerare i servizi di supporto al ciclo produttivo del Cliente un *SISTEMA INTEGRATO* di cui si può assumere la completa gestione e responsabilità: l'assuntore garantisce al Cliente le prestazioni richieste agli apparati, assumendo i rischi legati all'ottimizzazione della costo/efficacia. La costo/efficacia è un parametro che valuta la disponibilità del sistema in relazione ai costi di esercizio:

$$\text{Costo/Efficacia} = \text{Ao} / \text{LCC}$$

La disponibilità è l'attitudine di un dispositivo (sia esso un componente o un sistema) di svolgere una funzione richiesta in determinate condizioni, a un dato istante, durante un dato intervallo di tempo, supponendo che siano assicurati i mezzi esterni eventualmente necessari. Il Life Cycle Cost (LCC) è costituito dalla valutazione complessiva del costo totale di un bene in un orizzonte temporale non esclusivamente limitato al periodo di delivering del prodotto/servizio all'utente finale, ma esteso al periodo di utilizzo successivo fino alla dismissione. In estrema sintesi il ruolo dei principali attori che partecipano al ciclo produttivo (Cliente, Costruttore degli Impianti e Fornitore della Manutenzione) è il seguente: il Cliente per eseguire le attività legate al proprio *core business* acquista dal Costruttore gli impianti; il Costruttore fornisce le prestazioni degli

impianti e determina la loro disponibilità intrinseca (Ai) in funzione dei valori di affidabilità e manutenibilità di progetto; il fornitore di servizi di manutenzione ha la responsabilità di generare la disponibilità operativa (Ao), ed infine il cliente utilizzerà la disponibilità operativa generata ai fini della realizzazione delle attività *core*. Le Prove non Distruttive costituiscono sicuramente una leva importante per l'ottimizzazione del parametro costo/efficacia, ma, per la loro introduzione in un contesto industriale, risulta necessario mettere a punto un approccio pratico tecnico-economico che abbia una valenza generale per qualsiasi Prova non Distruttiva possa essere adottata e che ci permetta di indirizzare la scelta in base alle effettive esigenze di produzione.

L'approccio messo a punto si compone delle seguenti fasi elementari:

1. individuazione delle macchine critiche;
2. analisi delle cause di guasto delle macchine critiche;
3. individuazione delle possibili cause di guasto per cui è possibile introdurre una PnD;
4. analisi costi/benefici delle PnD individuate.

Individuazione delle macchine critiche

In primo luogo, per approfondire la comprensione del funzionamento degli apparati appartenenti al ciclo di produzione, devono essere analizzati gli schemi funzionali e affidabilistici. Quindi per determinare le macchine critiche devono essere associate ai blocchi funzionali i valori del parametro Costo/Efficacia valutato sia come Requisito del Cliente che come Risultato di Gestione.

$$\begin{aligned} &\text{Ao} / \text{LCC} \text{ (Requisito del Cliente)} - \\ &\text{Ao} / \text{LCC} \text{ (Risultato di Gestione)} = \\ &\text{Ao} / \text{LCC} \text{ (Scostamento)} \end{aligned}$$

Le Macchine Critiche sono quelle che hanno i maggiori scostamenti. Prerequisito indispensabile per la valutazione dei valori di Costo/Efficacia è il funzionamento di un sistema informativo di manutenzione opportunamente initializzato e alimentato.

Analisi delle cause di guasto

delle macchine critiche

Per le Macchine Critiche individuate l'approccio va proseguito effettuando una analisi RCM ⁽ⁱ⁾, avendo come documentazione di riferimento principalmente la banca dati storica dei guasti ed il Manuale di Uso e Manutenzione degli Impianti.

L'applicazione della metodologia RCM, che ha come scopo principale la revisione dei piani di manutenzione esistenti, si avvale dell'analisi FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) o dell'analisi FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis) per individuare tutte le cause di guasto delle macchine.

L'algoritmo logico decisionale che l'RCM introduce per analizzare le singole cause di guasto, allo scopo di guidare nella proposizione di attività che possano prevenire il verificarsi delle avarie o mitigarne le conseguenze, contiene la seguente domanda: **“Esiste, è conveniente e tecnicamente fattibile una attività che individui il guasto poco prima che questo si verifichi?”**

Tale domanda viene posta sempre, sia se l'avaria è nascosta, sia se l'avaria ha impatto sulla sicurezza, sia se ha impatto sull'ambiente, sia sulla capacità operativa che sulla sola economicità della missione.

Per le cause di guasto che hanno impatto sulla capacità operativa e sulla economicità della missione devono poi essere valutati i costi diretti ed indiretti associati.

Tali cause di guasto ed i relativi costi devono essere ulteriormente analizzati in un grafico di Pareto allo scopo di individuare il 20 % di cause che costituisce l'80 % dei costi.

Individuazione delle possibili cause

di guasto per cui è possibile introdurre una PnD

Le prove non distruttive offrono una risposta alla domanda, prima richiamata, dell'algoritmo logico decisionale RCM. Analizzando le principali fonti bibliografiche sull'argomento ⁽ⁱⁱ⁾ e integrandole con dati desunti dall'esperienza aziendale, sono state individuate in forma tabellare circa 60 possibili cause di guasto potenzialmente diagnosticabili attraverso Prove non Distruttive.

Tali cause di guasto pur non essendo esaustive costituiscono un utile riferimento per l'analisi. Utilizzando la classificazione adottata in campo aeronautico dal Maintenance Program Development Document MSG-3 ⁽ⁱⁱⁱ⁾ tali cause sono state suddivise in:

- Environmental Damage (ED - Danni dovuti all'Ambiente – Tab. 1);
- Fatigue Damage (FD - Danni dovuti a fenomeni di Fatica – Tab. 2);
- Accidentale Damage (AD - Danni Accidentali – Tab. 3).

Di seguito si riportano le tabelle in cui le varie PnD adottabili vengono associate a ciascuna causa di guasto diagnosticabile individuata. Correlando le possibili cause di avaria diagnosticabili con PnD con le cause di guasto desunte dai risultati dell'analisi RCM e dell'analisi di Pareto sulle macchine critiche è possibile:

1. individuare tra le cause di guasto monitorabili quelle che hanno impatto su sicurezza, ambiente, operatività e costi;
2. individuare le PnD che possono diagnosticare tali cause di guasto.

In particolare, per l'applicazione della tecnica termogra-

ENVIRONMENTAL DAMAGE

CAUSE GUASTI	PROVE NON DISTRUTTIVE														
	METODI OTTICI	CORRENTI INDOTTE	ANALISI VIBRAZIONI	EMISSIONE ACUSTICA	LIQUIDI PENETRANTI	MAGNETOSCOPIA	RADIOGRAFIA	RILEVAZIONE DI FUGHE	TERMOGRAFIA	ULTRASUONI	ANALISI OLI	ANALISI METALLOGRAFICA	METODI SCINTILLOMETRICI	METODO ELETTRICO	PROVE DI ISOLAMENTO
OSSIDAZIONE	0	0									0				
EROSIONE	0										0				
CORROSIONE UNIFORME	0	0					0			0	0				
CORROSIONE LOCALIZZATA	0								0	0	0				
SUPERFICIA CONTATTO CON SELLE E SOSTEGNI	0														

Tab. 1 Danni dovuti all'Ambiente.

FATIGUE DAMAGE

CAUSE GUASTI	PROVE NON DISTRUTTIVE														
	METODI OTTICI	CORRENTI INDOTTE	ANALISI VIBRAZIONI	EMISSIONE ACUSTICA	LIQUIDI PENETRANTI	MAGNETOSCOPIA	RADIOGRAFIA	RILEVAZIONE DI FUGHE	TERMOGRAFIA	ULTRASUONI	ANALISI OLI	ANALISI METALLOGRAFICA	METODI SCINTILLOMETRICI	METODO ELETTRICO	PROVE DI ISOLAMENTO
CRICCA DI FATICA		0			0	0	0			0	0			0	
CRICCA DI FATICA TERMICA		0			0	0	0			0				0	

Tab. 2 Danni dovuti a fenomeni di Fatica.

ACCIDENTAL DAMAGE

CAUSE GUASTI	PROVE NON DISTRUTTIVE														
	METODI OTTICI	CORRENTI INDOTTE	ANALISI VIBRAZIONI	EMISSIONE AUSTICA	LIQUIDI PENETRANTI	MAGNETOSCOPIA	RADIOGRAFIA	RILEVAZIONI DI FUGHE	TERMOGRAFIA	ULTRASUONI	ANALISI OLI	ANALISI METALLOGRAFICA	METODI SCINTILLOMETRICI	METODO ELETTRICO	PROVE DI ISOLAMENTO
DEFORMAZIONE	0	0	0	0	0	0				0		0			
INCLUSIONI		0													
VARIAZIONE DI SPESSORE	0	0	0												
RIPORTI NON CONDUTTIVI SU BASE CONDUTTIVA		0													
RIPORTI CONDUTTIVI SU BASE DI DIVERSA CONDUTTIVITA'		0													
VARIAZIONI ASSOCIATE ALLA CONDUTTIVITA' DEL MATERIALE		0													
DISOMOGENITA' DELLE LEGHE		0													
SURRISCALDAMENTO LOCALIZZATO	0	0	0						0	0		0			
ERRORE TRATTAMENTO TERMICO		0													
VARIAZIONI ASSOCIATE ALLA PERMEABILITA' DEL MATERIALE		0													
USURA RADENTE				0						0	0				
USURA SEVERA			0	0						0	0				
ADESIONE	0						0			0					
ABRASSIONE										0					
DISALLINEAMENTO			0							0					
EQUILIBRATURA			0												
ALLENAMENTI MECCANICI			0												
DIFETTO DELLA CINGHIA			0							0					
CAVITAZIONE			0												
DELAMINAZIONE				0									0		
CONTINUA.....															

Tab. 3 Danni Accidentali.

fica nel contesto industriale considerato, è stato seguito l'algoritmo tecnico decisionale di seguito riportato (cfr. Fig. 1). Di fondamentale importanza è l'esistenza di segnali monitorabili mediante tecnica termografica.

L'esistenza di tali segnali permette la definizione di un database di riferimento contenente le condizioni di normale funzionamento, a partire dal quale è possibile effettuare una corretta diagnosi del degrado funzionale del componente analizzato. Un esempio di attività di manutenzione preventiva eseguite da SI.M.AV. presso lo Stabilimento di Produzione considerato, è costituita dal controllo della pressione del circuito di bilanciamento dell'asse verticale di una macchina fresatrice CNC. Il sistema di bilanciamento idraulico è costituito da uno o più accumulatori idraulici con sacca di azoto, la cui funzione è quella di contrappeso nella movimentazione di un asse macchina soggetto alla forza peso. Un sistema con pressione di precarica non adeguata è causa di cattivo funzionamento del motore di movimentazione e quindi di un eccessivo assorbimento di energia da parte dello stesso con relativo surriscaldamento.

Si riporta di seguito l'attività presente sul piano di manutenzione originale. Tale intervento, ed il conseguente fermo impianto, è caratterizzato da una durata di 1,5 ore con l'impiego di due risorse, e pertanto da un notevole costo di esecuzione. L'integrazione di tale attività con attività di con-

trollo termografico del motore dell'asse in questione, ha permesso la riduzione della frequenza di intervento ad una sola volta all'anno. Quindi la conseguente riduzione dei tempi di fermo impiantistico, nonché un minore impiego di risorse in quanto lo svolgimento del rilievo termografico è

possibile con l'impegno di un solo esecutore aggregando in un solo intervento più attività di controllo. Di seguito si riporta il termogramma (cfr. Fig. 2) relativo all'attività di manutenzione predittiva sopraccitata, dalla quale è scaturita un'attività *on condition* di ripristino della pressione dell'impianto di bilanciamento dell'asse Z inerente una macchina per fresatura CNC modello Cinty dell'americana CINCINNATI. Step finale di tale flusso consiste nell'integrazione del classico piano di MTZ preventiva con le attività di analisi termografica che scaturiscono.

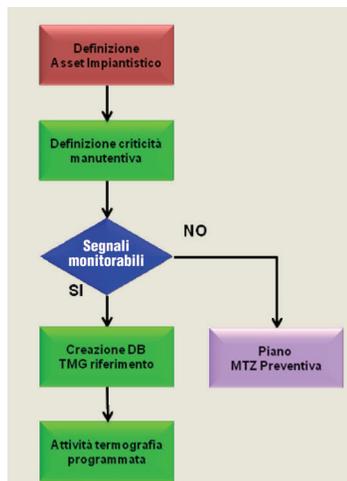


Fig. 1 Applicabilità termografica.

Analisi costi/benefici delle PnD individuate

L'introduzione delle PnD per ciascuna causa di avaria monitorata comporta costi e benefici (iv):

COSTI - I costi di implementazione diagnostica necessari per l'introduzione delle PnD per ciascuna causa di avaria monitorata sono costituiti da:

- progettazione della soluzione diagnostica;
- acquisto delle apparecchiature diagnostiche;

Attività	Freq.	Esecutore	Nr. Esecutori	h int.	h/anno int.
Verifica della pressione Circuito di bilanciamento Asse verticale	T	M	2	1,5	4

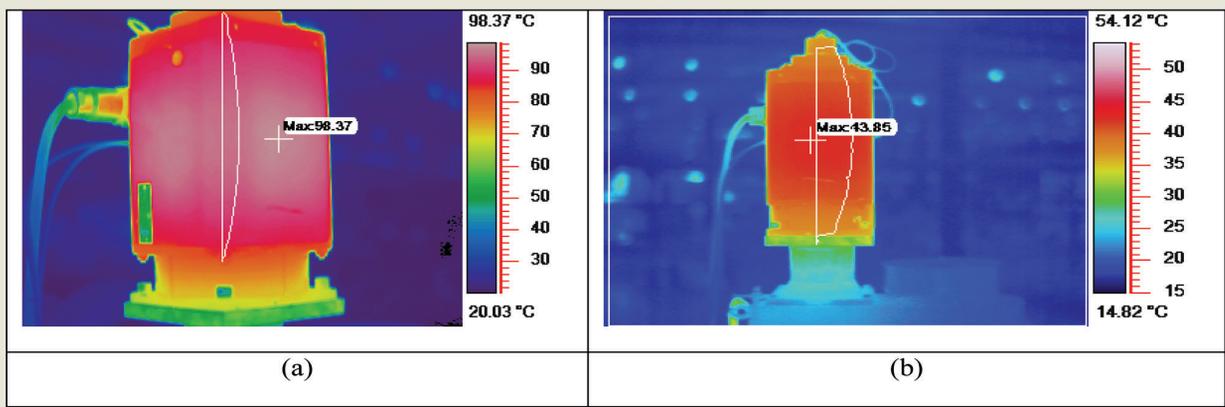


Fig. 2 Termogramma motore asse Z di una fresatrice CNC mod Cinty. (a) Prima dell'intervento; (b) Dopo l'intervento.

- formazione all'utilizzo della apparecchiatura e all'installazione della soluzione diagnostica;
- installazione della soluzione diagnostica;

BENEFICI - I benefici attesi ottenibili con l'introduzione delle PnD per ciascuna causa di guasto monitorata sono costituiti da:

- riduzione dei costi diretti e indiretti di manutenzione preventiva Hard Time (comprensivi dei costi di magazzino);
- riduzione dei costi diretti e indiretti di manutenzione a guasto (comprensivi dei costi di magazzino);
- riduzione dei costi dovuti a penalità per il superamento dei tempi di ripristino fissati dagli SLA;
- riduzione dei costi di mancata produzione organizzativi, tecnici e delle relative penalità;
- limitazione delle derive qualitative.

Risulterà vantaggioso adottare una certa PnD per monitorare una specifica causa di avaria se i benefici attesi ottenibili superano i costi di implementazione diagnostica comportando un aumento del parametro di costo/efficacia (Ao/LCC) come risultato di gestione. Per quantificare i benefici derivanti dall'applicazione della termografia SI.M.AV. nello Stabilimento di Produzione considerato, si riportano i seguenti dati caratteristici della sperimentazione effettuata:

- Parco macchine installate: 160 unità
- Tempo di Operatività totale richiesto: 625.920 ore

Rispetto ai valori risultanti dai piani di manutenzione originali (con il ricorso a manutenzione preventiva ciclica), con l'introduzione della manutenzione predittiva con termografia, si sono ottenuti i seguenti incrementi di disponibilità operativa:

Parametri	Manutenzione Preventiva Ciclica	Manutenzione Predittiva Termografia
MDT*	0,82	0,84
MTBM*	38,59	46,66
Ao*	0,978	0,982

* Valori medi di riferimento

Tutto ciò comporta un incremento del tempo di operatività nell'ordine delle 2500 ore fornite.

L'approccio messo a punto fornisce alcune linee guida di base per valutazioni anche di natura economica, oltre a quelle fondamentali di natura tecnica che necessariamente devono essere effettuate, nella scelta delle più efficaci Prove non Distruttive da adottare in funzione della specifica causa di guasto da diagnosticare e presenta ricadute più vaste legate all'applicazione della metodologia RCM per la revisione dei piani di manutenzione delle macchine critiche.

Fonti bibliografiche:

¹ Fonte: RCM2 - JOHN MOUBRAY - Articolo "La metodologia Reliability Centred Maintenance" da Manutenzione Tecnica e Management Settembre 2001 (Autore Sergio Cerciello).

ⁱⁱ Fonte: Manuale di manutenzione degli impianti industriali e servizi. A cura di L. Furlanetto - ed. Franco Angeli (Autore Andrea Maciga).

ⁱⁱⁱ Fonte: Maintenance Steering Group - 3.

^{iv} Fonte: Dalla manutenzione programmata a quella predittiva e on-condition: un modello di valutazione tecnico-economica per giustificare le soluzioni di diagnostica e monitoraggio. Autori: Daniele Saccardi (ACM e S.r.l.) - Raoul Vilella (A.I.MAN. Sezione Lazio)

Ing. Sergio Cerciello si è laureato nel 1991 in Ingegneria Aeronautica presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Attualmente collabora in qualità di Project Manager nell'Area di Ingegneria della Società SI-MAV SpA, nelle cui file ha



maturato un'esperienza di circa diciotto anni nello studio e realizzazione di sistemi di gestione della manutenzione per varie realtà industriali. Da circa dieci anni è incaricato dello sviluppo e applicazione della Metodologia RCM per i progetti affidati all'Area.

Ing. Carmine D'Auria si è laureato nel 2005 in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Ha collaborato all'ingegnerizzazione del sistema manutenzione degli impianti produttivi di uno degli sta-



bilimenti presso i quali Si-mav opera. Attualmente impegnato nell'ente Ufficio Tecnico di sito, si occupa di termografia, analisi guasti ed ha collaborato ad alcuni progetti di retrofit.

gli Autori