

Ispezione termografica negli impianti AT e MT.

Con la nuova generazione di strumenti termografici negli ultimi anni ha assunto grande importanza la diagnostica predittiva d'impianti elettrici mediante termografia

Roberto Ricca,

Inprotec, Cinisello Balsamo (MI)

Enrico Corrado,

ABB Power Technology, manca la città

Introduzione

Nell'ultimo triennio la termografia è entrata a tutti gli effetti a far parte dei requisiti dei capitoli tecnico/manutentivi degli operatori del mercato delle tecnologie per l'energia.

I tecnici addetti alla rilevazione termografica sono altamente specializzati e accreditati presso il CICPND, centro italiano coordinamento prove non distruttive, l'ente preposto alla certificazione del personale addetto in conformità alla norma UNI EN 473, definita su 3 livelli di competenza.

La rilevazione termografica di un qualsiasi sistema si sviluppa sostanzialmente in due momenti:

- l'intervento di un operatore sul sito da analizzare
- l'elaborazione del rapporto, il cosiddetto *test report al calcolatore*, effettuato da un operatore qualificato almeno al II° livello.

La termografia ha contribuito in maniera sostanziale a cambiare l'approccio alla manutenzione d'impianto, fornendo ulteriori parametri d'analisi e soprattutto consentendo interventi mirati e pianificati in modo da eliminare, o quantomeno ridurre, i fermi di produzione.

L'importanza della diagnostica predittiva, preludio alla manutenzione programmata è interamente condivisa dai clienti. Prevenire, è meglio che curare.

In particolare, la termografia come metodologia diagnostica per le apparecchiature elettriche ha la peculiarità di evidenziare anomalie derivanti dal surriscaldamento di

parti in tensione in modo da orientare e programmare oculatamente la fase di manutenzione vera e propria.

Ci sono alcuni casi in cui i clienti decidono di limitare o di posticipare quest'ultima fase, a fronte dell'esito del report termografico. È il caso ad esempio dei gestori di impianti di pubblica utilità, dove ridurre il fermo è un'esigenza economica ma anche sociale.

In tali situazioni si tende ad intervenire esclusivamente sulle apparecchiature "calde" dell'elaborato a infrarossi, riducendo così i tempi di manutenzione e quindi i relativi costi.

Per dare un riscontro pratico di ciò che vi abbiamo fin qui descritto, vengono presentate alcune immagini con relativo commento. Tali immagini, rilevate sul campo in occasione di diversi sopralluoghi, hanno evidenziato anomalie e reso possibile la tempestiva programmazione degli interventi manutentivi sull'impianto

Principi di funzionamento di una moderna termocamera.

L'ispezione termografica si è notevolmente diffusa negli ultimi anni, per la precisione dopo il 1997, poiché sono stati introdotte sul mercato le nuove termocamere palmari con sensori microbolometrici che hanno permesso di realizzare termocamere di pesi e dimensioni ridotte. Una termocamera come quella rappresentata nella fig. a è l'ultima generazione di termocamera totalmente radiometrica operante nella seconda finestra atmosferica (8-14 μm.)



Fig. A *Ultima generazione di termocamera radiometrica*

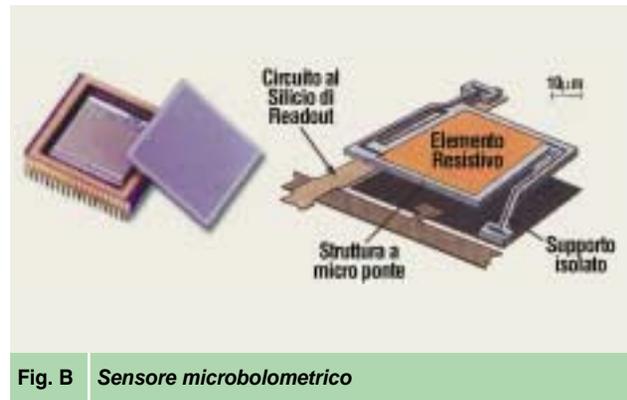


Fig. B *Sensore microbolometrico*

ed esente da sistemi di raffreddamento, con sensore microbolometrico di quarta generazione (GEN IV), che lavora a temperatura ambiente.

Il continuo miglioramento dei sensori e dell'elettronica di amplificazione, ha permesso di migliorare ulteriormente le prestazioni della termocamera con una risoluzione termica migliore di 0,05°C. I pesi e le dimensioni ulteriormente ridotti rispetto alla prima serie di termocamera (solo 1,8 Kg.) permette di effettuare riprese termografiche per tempi abbastanza lunghi senza affaticare l'operatore.

Il sensore di una termocamera è costituito da una matrice bidimensionale FPA (*Focal Plane Array*) di 76.800 (320x240) sensori microbolometrici (fig. b) ognuno costituito da uno strato di Ossido di Vanadio che ha la proprietà di variare la resistenza in funzione dell'energia Infrarossa

che colpisce detta superficie. Il valore della resistenza è utilizzato da una tabella di calibrazione che avendo memorizzata la variazione della resistenza con la temperatura permette di calcolare la temperatura di ogni pixel. La mappa termica è rappresentata a falsi colori per una facile ed immediata visualizzazione delle temperature, poiché ogni colore corrisponde ad una temperatura.

In realtà l'algoritmo di misura temperatura è più complesso di come qui brevemente descritto, poiché tiene conto di ulteriori parametri come, temperatura riflessa, temperatura ambiente, temperatura del gruppo ottico, coefficiente d'emissività, distanza di ripresa.

Sotto è riportata una tabella con i principali sensori attualmente disponibili sul mercato ed i vantaggi e svantaggi di ognuno.

Sensore	Microbolometrico (Ossido di Vanadio)	Microbolometrico (Silicio amorfo)	Ferroelettrico (BTS - Barium Strontium Titanate)
Risoluzione termica	0,08°C (0,05°C con media immagini)	0,1°C	0,1°C
Stabilità della misura temperatura	ottima	media	media/bassa
Chopper davanti al sensore	no	no	sì
Immagine con tessitura	no	sì	no
Costo	elevato	medio	medio

Un giudizio complessivo sui tre sensori può essere riassunto con:

Microbolometrico (Ossido di Vanadio)	Migliore sensore non raffreddato sul mercato con ottima risoluzione termica, stabilità nella misura della temperatura.
Microbolometrico (Silicio amorfo)	Sensore con discreta risoluzione termica, leggermente meno stabile nella misura della temperatura, immagine meno definita.
Ferroelettrico (BTS - Barium Strontium Titanate)	Sensore adatto per immagini termiche qualitative è possibile usarlo anche per le misure delle temperature ma con range dinamico limitato. Ha l'inconveniente di richiedere un chopper davanti al sensore.

La telecamera Infrarosso operante nel campo spettrale 8~14 µm. (*Long Wave*) offre considerevoli vantaggi rispetto ad uno strumento operante nel campo spettrale 3~5,4 mm. (*Short Wave*) poiché l'assorbimento atmosferico è quasi nullo e le riflessioni solari sono inferiori.

La registrazione delle immagini termiche può essere effettuata in modo digitale su Compact Flash Card con registrazione anche di un commento vocale con ogni immagine. Le immagini possono successivamente essere analizzate ed elaborate direttamente dalla telecamera oppure su PC mediante pacchetti software operanti in ambiente Windows™.

L'attuale limite di 320x240 pixel del sensore microbolometrico è già stato ampiamente superato (esistono sensori di 640x480 pixel ed oltre) ma essendo i prezzi attuali di tali FPA eccessivamente elevati (oltre Euro 150.000) l'applicazione è limitata al settore militare.

Quando si effettua una ripresa termografica è importante tener conto della risoluzione geometrica dell'obiettivo e telecamera. La risoluzione geometrica di un obiet-

tivo è definita in mrad. Esso è un valore che permette di ottenere immediatamente la grandezza del pixel alle varie distanze di ripresa, La formula è rappresentata semplicemente da:

$$\text{lato pixel} = \text{IFOV (mrad.)} \times \text{distanza (m.)}$$

Se un obiettivo ha una risoluzione geometrica (IFOV)

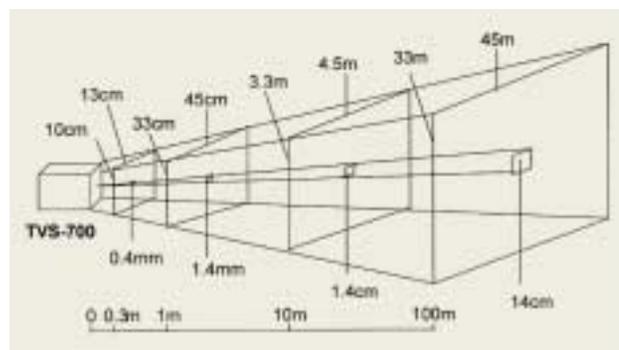


Fig. C Risoluzione geometrica di una termocamera con ottica avente IFOV 1,4 mrad.)

Classe difetto	Surriscaldamento	Intervento richiesto	
0	$\Delta T < 5^\circ\text{C}$	Nessun intervento	
1	$5^\circ\text{C} < \Delta T < 10^\circ\text{C}$	Intervento condizionato dai risultati della successiva ispezione	
2	$10^\circ\text{C} < \Delta T < 35^\circ\text{C}$	Intervento differito alla prima manutenzione programmata	
3	$\Delta T > 35^\circ\text{C}$	Manutenzione immediata	X

di 1,4 mrad ad una distanza di 20 metri sarà possibile misurare la temperatura di un oggetto avente dimensioni 28x28 mm.

lato pixel = 1,4 x 20 = 28 mm.

La fig. c permette di avere in forma grafica un'imme-

diata corrispondenza tra distanza di ripresa e dimensioni del campo visivo inquadrato e la risoluzione geometrica o spaziale di un pixel.

La priorità dell'intervento è definita in funzione del ΔT riscontrato tra la fase più fredda ed il punto più caldo della fase surriscaldata. La tabella sotto riportata indica l'azione da intraprendere a secondo dei valori termici misurati. Ci sembra importante illustrare alcuni esempi pratici d'ispezione termografica su elementi di AT. ■

Bibliografia

- 1) Norma UNI EN 473
- 2) CICPND
- 3) Archivio rilevazioni ABB PTPS

ESEMPI APPLICATIVI

Esempio 1

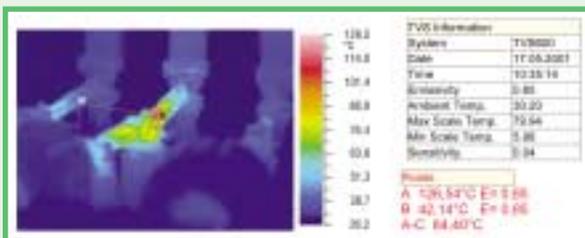


Fig. 1 Sbarre MT interruttore 2KV in aria

Come è evidenziato dalla fig. 1 il delta (d'ora in poi ΔT) di temperatura supera gli 80 °C tra le fasi. Questo interruttore è posto sull'arrivo di un trasformatore di potenza che alimenta un impianto chimico. Un fuoriservizio intempestivo avrebbe causato danni ingenti all'impianto per la tipologia di lavorazione eseguita. La termografia mettendo in luce il problema ha permesso di programmare anticipatamente l'arresto del processo produttivo stimando il tempo necessario alla risoluzione dell'anomalia.

Esempio 3

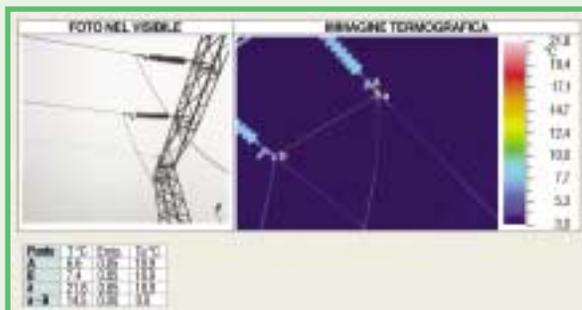


Fig. 3 Morsa calata su trasformatore fase centrale

Nella fig. 3 si nota il riscaldamento morsa causato da ossidazione-deterioramento o da allentamento bulloneria di tenuta. Intervento consigliato: Priorità intervento classe 3 (TENERE IN OSSERVAZIONE AL PROSSIMO CONTROLLO)

Esempio 2

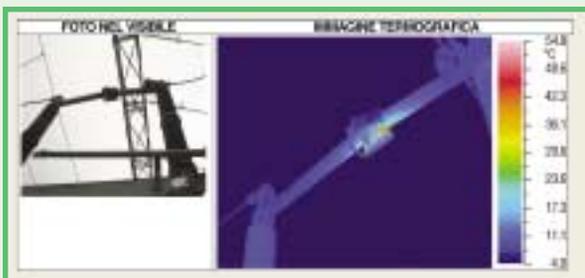


Fig. 2 Sezionatore A.T. a 2 colonne fase laterale

Esempio di Sottostazione con componenti obsoleti (con ormai limitata vita residua) e poco mantenuti.

Da questa immagine termica (fig. 2) si nota che è presente un surriscaldamento dovuto presumibilmente ad usura contatti o alla non perfetta pressione dei contatti dovuta a chiusura imperfetta. Il ΔT di circa 40°C indica una priorità d'intervento in classe 2.

Esempio 4



Fig. 4 Portalino MT trasformatore

Nell'immagine termica a destra della fig. 4 viene riscontrato il riscaldamento sbarra causato da ossidazione-deterioramento punti di contatto o da allentamento della bulloneria di tenuta. Il ΔT di 43,3°C indica una priorità d'intervento in classe 2 (riparare in tempi brevi).

ESEMPI APPLICATIVI

Esempio 5

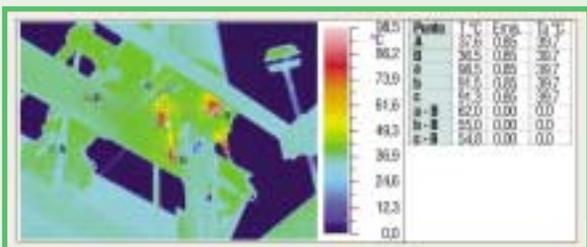


Fig. 5 Connessione cavo - trafo di potenza

In questo esempio fig.5- intervenuti su segnalazione - abbiamo eseguito una rilevazione termografica nella quale si è evidenziato un surriscaldamento anomalo dei varistori di equipotenzialità di terra posizionati sulle connessioni trafo-cavo. Questo risultato ha portato a ritenere che il problema fosse legato alle terre del trasformatore o del cavo; dopo accurate ricerche si è individuata la causa dell'anomalia in una connessione di terra relativa al cavo 150 KV di arrivo al trafo. Mentre inizialmente si pensava si trattasse di un problema legato al terreno sul quale erano posati trasformatore e cavo, l'analisi accurata dei parametri termici ha evidenziato la vera anomalia nella connessione di terra relativa al cavo 150 KV di arrivo del trafo. Senza termografia sarebbe stato molto più difficile individuare la causa del problema.

Esempio 6a

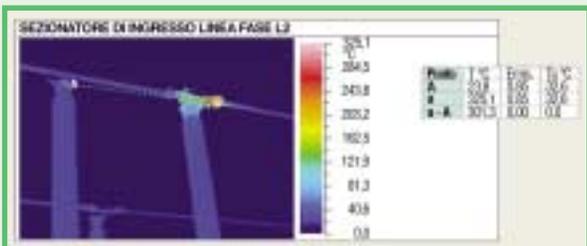


Fig. 6 Sezionatore di ingresso linea fase laterale

Ossidazione ed allentamento della bulloneria delle morse AT con conseguente aumento della temperatura a valori estremamente elevati.

Esempio 6b

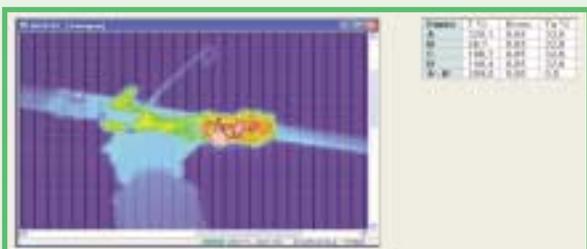


Fig. 6 Sezionatore di ingresso linea fase laterale

Questo ingrandimento mette in luce come in pochi cm. la temperatura passi da 146°C (punto D) a 325°C (punto A).

Esempio 7

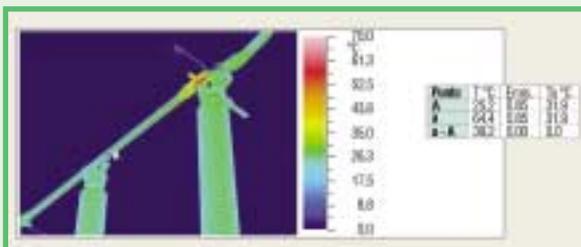


Fig. 7 Sezionatore A.T.

Questo ingrandimento mette in luce come in pochi cm. la temperatura passi da 146°C (punto D) a 325°C (punto A).

Esempio 8

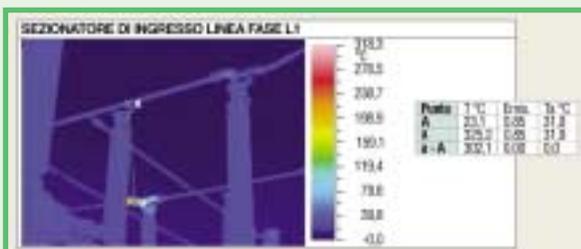


Fig. 8 Sezionatore di ingresso linea

Commento: sezionatore 150 KV tribolare rotante con comando manuale elettrico con lame di terra. Gli oltre 300°C di differenza di temperatura indicano una criticità grande con fermata immediata dell'impianto.

Esempio 9

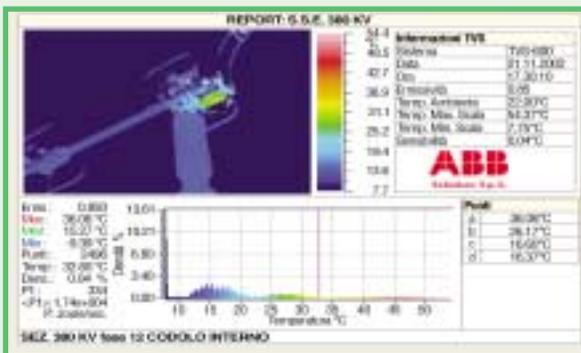


Fig. 9 Sez. 380 KV fase 1 codolo interno

In fig. 9 un esempio di un breve rapporto ed evidenzia il riscaldamento del codolo interno di un sezionatore da 380 KV dovuto al sottodimensionamento ed alla errata scelta del materiale costruttivo delle piastre di contatto interfacciate con la corda di fase.

Roberto Ricca, lavora presso la Società INPROTEC di Cinisello Balsamo ed è docente per corsi di termografia presso la CND Studio di Milano. Ha conseguito la qualifica CICPND di III livello in termografia. Si occupa di istr-



zione e supporto tecnico applicativo nell'utilizzo di strumentazione termografica. Fa parte della commissione UNI «Prove non distruttive» gruppo di Lavoro «Termografia all'Infrarosso»

Enrico Corrado, lavora presso la società ABB Power Technologies U.O. Power Systems di Lodi e si occupa di Service di sottostazioni e apparecchiature elettro-



meccaniche AT-MT; si interessa di termografia da una decina di anni ed ha conseguito la qualifica CICPND di II° livello.

gli Autori