

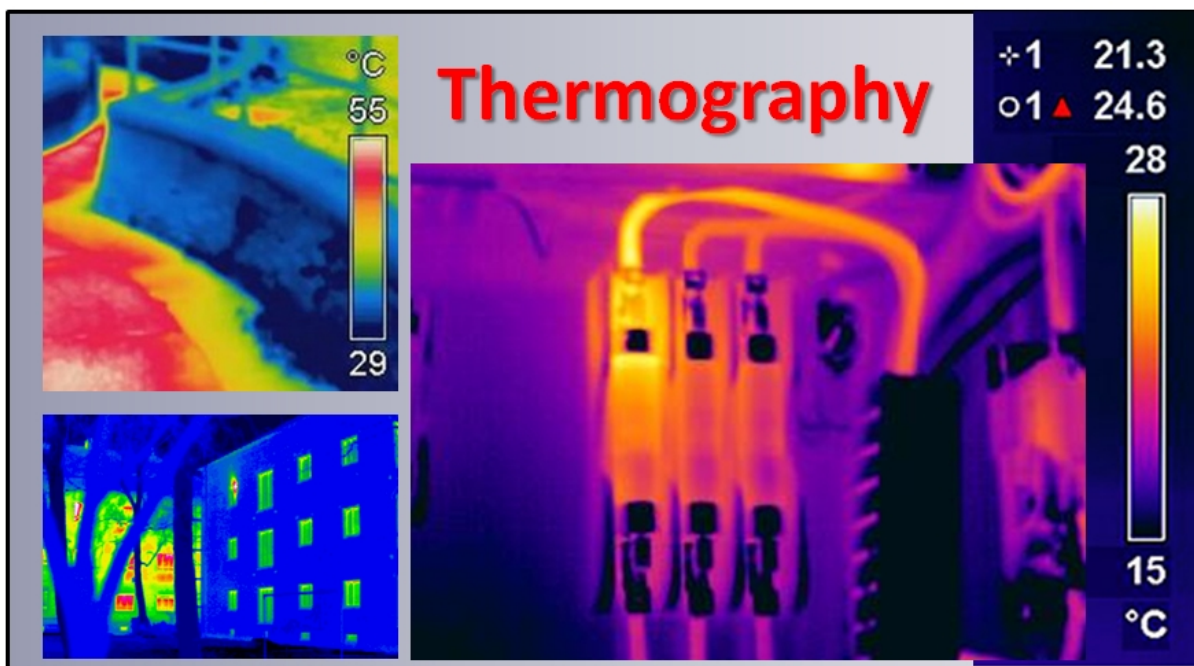
# Meccanismo Complesso

[-www.meccanismocomplesso.org](http://www.meccanismocomplesso.org)

## La termografia: un valido aiuto per la manutenzione elettrica

2014-12-12 23:12:24 BrunoOrsini

Post Views: 17.494



### Premessa introduttiva

Negli ultimi anni nel settore dell'impiantistica elettrica, soprattutto per quanto riguarda la manutenzione degli impianti e delle apparecchiature in genere, si è notevolmente sviluppata la **termografia**: termine che deriva dalle parole greche "thermos" che significa caldo e "gràphen" che significa disegnare ovvero disegnare il calore, una tecnica diagnostica non invasiva che permette di individuare valori di temperatura superficiale senza entrare in contatto diretto con i componenti elettrici attraverso la visualizzazione e la misurazione dell'energia termica emessa da un oggetto.

### Alcuni cenni storici

La termografia è una particolare tecnica diagnostica di rilevamento a distanza effettuata tramite l'acquisizione di immagini nel campo dell'infrarosso sfruttando il principio fisico secondo il quale qualsiasi corpo o oggetto con una temperatura superiore allo zero assoluto ( $0\text{ K} = -273,16\text{ °C}$ ) vedi figura 1, emette energia sotto forma di radiazione infrarossa invisibile all'occhio umano; con questa particolare tecnica è possibile rilevare differenze di temperatura dell'ordine del centesimo di grado a distanza e senza contatto.

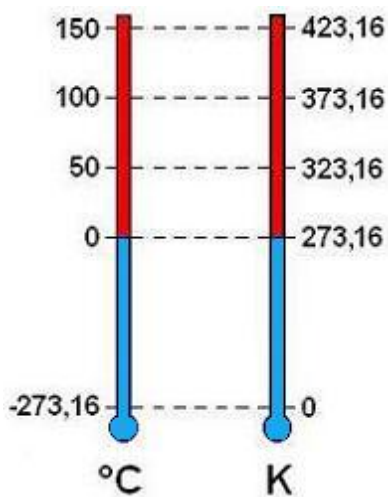


Fig.1: Confronto tra temperatura in K e °C

L'occhio umano infatti è in grado di individuare solo la radiazione elettromagnetica che costituisce lo spettro della luce visibile che va da una lunghezza d'onda di  $0,4\mu\text{m}$  a  $0,7\mu\text{m}$ , tutte le altre forme di radiazioni elettromagnetiche tra cui le radiazioni infrarosse, non sono visibili.

Lo scienziato che per primo scoprì la radiazione infrarossa fu nel 1800 Frederick William Herschel astronomo presso la corte di re Giorgio III d'Inghilterra, che scomponendo la luce del sole per mezzo di un prisma di vetro, riuscì a misurare la temperatura di ogni singolo colore dell'arcobaleno così ottenuto, scoprendo che a colori differenti corrispondevano temperature differenti e soprattutto che la temperatura aumentava verso il colore rosso raggiungendo il massimo valore oltre la zona del rosso in una banda dello spettro in cui la luce del sole non era visibile, Herschel chiamò questo fenomeno **spettro termometrico**, vedi figura 2.

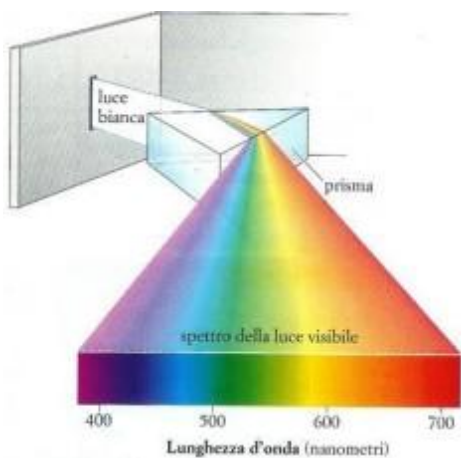


Fig.2: Spettro della luce visibile

Successivamente nel 1829 con il fisico Leopoldo Nobili e nel 1830 con il fisico Macedonio Melloni furono fatti ulteriori passi avanti fino ad arrivare alla prima immagine termica realizzata dal figlio di William Herschel, John che ottenne un'immagine grazie ad un sistema di evaporazione di olio contenuto in una sottile pellicola.

Le moderne apparecchiature termografiche però, sono realizzate sfruttando l'invenzione del **bolometro** nel 1881 da parte di Samuel Langley che riuscì a rilevare ad una distanza di trecento metri la radiazione infrarossa emessa da una mucca. Un ulteriore e definitivo passo avanti nella realizzazione delle moderne e compatte apparecchiature termografiche è stato fatto per mezzo dell'invenzione del sistema di raffreddamento del sensore tramite l'utilizzo di azoto liquido racchiuso in contenitori a chiusura ermetica inventato dallo scienziato scozzese James Dewar che per primo, nel 1904, realizzò un tipo di contenitore utilizzando dei vasi isolanti a doppia parete di vetro argentato e sottovuoto per la conservazione dei gas liquefatti (vasi di Dewar). Fino al 1960 lo sviluppo della tecnologia all'infrarosso è stata di esclusiva competenza del settore militare, e solo dopo il 1960 la tecnologia degli infrarossi è stata sviluppata anche per

scopi civili.

## La radiazione infrarossa

La radiazione infrarossa rappresenta una parte dello spettro elettromagnetico sino ad oggi conosciuto, la sua lunghezza d'onda è compresa tra 1 mm e 750 nm (300 GHz e 400 THz) e si colloca tra la banda della radiazione visibile e quella delle onde radio; questo tipo di radiazione si manifesta sotto forma di calore e può essere rilevata con l'impiego di un particolare strumento, il bolometro. Il termine deriva dal latino "infra" sotto, significa sotto il rosso ed indica che la sua frequenza si trova subito sotto quella del colore rosso della luce visibile, in figura 3 è schematizzato lo spettro elettromagnetico con particolare riguardo alla luce visibile.

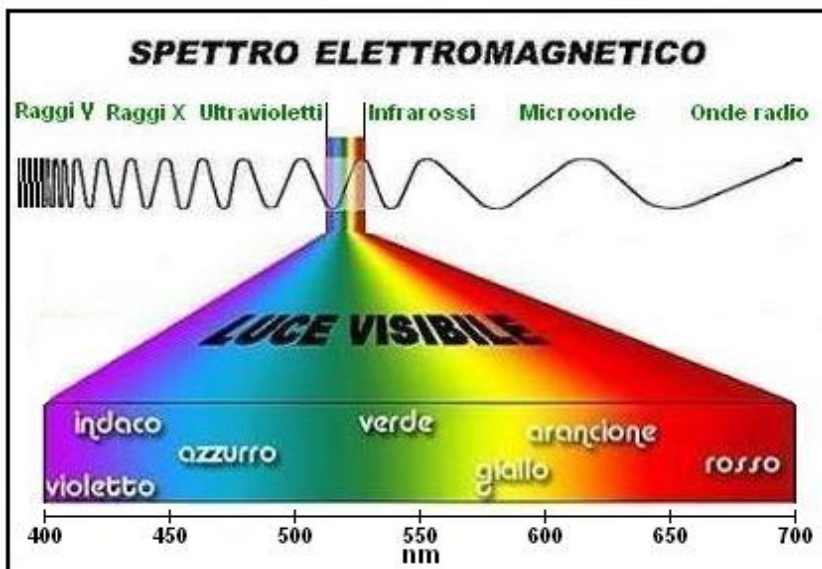


Fig.3: Spettro elettromagnetico

Le onde elettromagnetiche infrarosse vengono anche chiamate **radiazione termica o radiazione di calore**, esse viaggiano alla velocità della luce e hanno come caratteristica principale quella di non riscaldare l'aria ma le superfici. A seguito della loro vastità nello spettro elettromagnetico e ai vari campi di utilizzazione, la loro banda di frequenza viene divisa nelle seguenti zone non standardizzate, rappresentate in figura 4:



Fig.4: Spettro infrarosso

- **Near Infrared Radiation (infrarosso vicino)** è la zona più vicina alla banda della luce visibile, ha una lunghezza d'onda da 0,75 µm (400 THz) a 1,4 µm (214 THz), viene impiegato soprattutto per la fotografia e la riflettografia tecnica non distruttiva per l'esame di superfici dipinte, in questa zona dell'infrarosso viene emessa anche circa il 50% della radiazione solare che per il restante 45% viene emessa nella banda visibile e per il 5% circa nella banda dell'ultravioletto;
- **Short Wave Infrared Radiation (infrarosso ad onda corta)** ha una lunghezza d'onda da 1,4 µm (214 THz) a 3 µm (100 THz); viene impiegato per la misura di temperature elevate;
- **Medium Wave Infrared Radiation (infrarosso ad onda media)** ha una lunghezza d'onda da 3 µm (100 THz) a 8 µm (37,5 THz), viene impiegato generalmente per l'identificazione di oggetti o gas;
- **Long Wave Infrared Radiation (infrarosso ad onda lunga)** ha una lunghezza d'onda da 8 µm (37,5 THz) a 15 µm (20 THz), è la banda più usata per la termografia la sua frequenza è quella più adatta per

l'osservazione delle temperature ambientali, inoltre risultando particolarmente benefico per il corpo umano viene anche denominato "raggio della salute" e per questo motivo è largamente impiegato anche in campo medico per le terapie di riabilitazione;

- **Far Infrared Radiation (infrarosso lontano)** è quella più lontana e vicina alla banda delle microonde, ha una lunghezza d'onda da 15  $\mu\text{m}$  (20 THz) a 1000  $\mu\text{m}$  (300 GHz) ed è utilizzata soprattutto in astronomia in quanto adatta per osservazioni inferiori a 250 K.

Attualmente la radiazione infrarossa viene utilizzata in un vastissimo campo di applicazioni, dalla realizzazione di apparecchiature per la visione notturna soprattutto in campo militare alle applicazioni civili come ad esempio la visione attraverso il fumo in caso di incendio in quanto il fumo risulta trasparente all'infrarosso, la visione notturna per la videosorveglianza e la spettroscopia in campo industriale per l'analisi dei materiali, fino alla trasmissione dati come i telecomandi dei televisori, la comunicazione tra apparati elettronici portatili e fissi come computer e cellulari attraverso appositi standard di trasmissione dati come ad esempio l'**IrDA (Infrared Data Association)**.

## La videocamera termografica

La **videocamera termografica** più comunemente chiamata **termocamera**, è un moderno dispositivo particolarmente sensibile alla radiazione infrarossa composto dall'insieme di elementi ottici ed elettronici in grado di convertire l'energia emessa da un determinato oggetto sotto forma di onde elettromagnetiche infrarosse in un segnale digitale, attraverso questa procedura è possibile ottenere una mappa termica superficiale di temperatura che è poi resa visibile tramite un display. Questo tipo di apparecchiatura utilizza un sistema di falsi colori che vengono attribuiti alle variazioni di temperatura e opera sullo spettro infrarosso compreso tra l'infrarosso ad onda media (MWIR) e l'infrarosso lontano (FIR), può essere utilizzata per effettuare:

- **misure quantitative**, ovvero misurare la temperatura assoluta superficiale in qualsiasi punto dell'oggetto in esame;
- **misure qualitative**, ovvero visualizzare la distribuzione della temperatura su tutta la superficie dell'oggetto in esame, in questo caso le immagini ottenute vengono elaborate per mezzo di uno specifico software che provvede ad effettuare l'analisi delle misure, la registrazione nel tempo, la realizzazione di rapporti, con una frequenza di acquisizione delle immagini termografiche fino a 60 Hz per le apparecchiature standard e fino a oltre 400 Hz per le apparecchiature più sofisticate e da laboratorio.

**In pratica la videocamera termografica è un'apparecchiatura non invasiva che permette di effettuare rilievi definiti PnD (Prove non Distruttive) con la quale è possibile misurare, visualizzare, memorizzare ed elaborare nel tempo la distribuzione della temperatura su vaste superfici in modo rapido, preciso e in assoluta sicurezza.**

Il funzionamento di questa apparecchiatura elettronica può essere sintetizzato come segue: un dispositivo ottico **l'obbiettivo**, in genere costituito da lenti al germanio o silicio trasparenti alla radiazione infrarossa e dotato di caratteristiche antiriflesso, provvede ad inquadrare gli oggetti dei quali si vuole rilevare l'energia all'infrarosso emessa ed invia l'immagine ad un apposito **sensore a matrice** che legge l'immagine attraverso una matrice formata da un determinato numero di **pixel** (l'elemento che riesce a rilevare la più piccola variazione nell'infrarosso in funzione di una determinata temperatura) per un determinato numero di righe; ad esempio le videocamere termografiche tecnologicamente più evolute riescono ad ottenere immagini con una risoluzione di 640×480 pixel, questo vuol dire che l'immagine termica viene ottenuta come se fossero impiegati contemporaneamente 307200 termometri a contatto. Un circuito elettronico, tramite un adeguato supporto informatico e algoritmi molto complessi, legge ed elabora velocemente il valore di energia immagazzinata da ogni singolo pixel, il segnale così ottenuto viene elaborato elettronicamente e convertito in un'immagine termica chiamata **termogramma** visibile su uno schermo in genere a cristalli liquidi (LCD) nel quale diversi toni di grigio o di colori vengono fatti corrispondere alla distribuzione della radiazione infrarossa sulla superficie dell'oggetto inquadrato dall'obbiettivo. In pratica ad ogni valore di temperatura rilevato viene associato un colore, scelto da una determinata scala cromatica messa a disposizione dalla videocamera o dal software di elaborazione dei dati, nella generalità dei casi le scale cromatiche maggiormente impiegate sono "rainbow" per i termogrammi in edilizia e "iron" per i termogrammi industriali. La matrice e soprattutto il sensore sono gli elementi fondamentali di una videocamera termografica, essi influenzano direttamente tutte le caratteristiche dello strumento, per le applicazioni generiche vengono utilizzati sensori microbolometrici a matrice piana e possono essere sia raffreddati che non raffreddati, ovviamente quelli raffreddati presentano una sensibilità termica notevolmente superiore rispetto a quelli non raffreddati, il materiale più comune per la realizzazione dei sensori è il silicio amorfo o l'ossido di vanadio. I modelli di videocamera termografica più

sofisticati attraverso opportuni supporti informatici possono anche memorizzare, archiviare, elaborare ed inviare a distanza report di dati rilevati nel tempo. In figura 5 è visibile un modello di videocamera termografica FLIR molto avanzato con caratteristiche quali risoluzione 640×480 pixel, display LCD touchscreen da 4,3", messa a fuoco automatica, puntatore laser, connettività Wi-Fi, precisione  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , misure a  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ , creazione di documenti in PDF, possibilità di aggiungere annotazioni tramite tastiera touchscreen e commenti vocali tramite auricolare Bluetooth.



Fig.5: Una videocamera termografica della FLIR

Poiché lo scopo principale di una videocamera termografica non è quello di effettuare misure di temperatura ma quello di effettuare **un'analisi termica per comparazione**, al fine di individuare la tipologia di strumento più adatto per un determinato rilievo termografico è necessario conoscere e valutare i seguenti parametri che caratterizzano una videocamera termografica:

- **campo di temperatura** ovvero la scala termica entro la quale si prevede di rilevare le immagini termiche, in genere da  $-20$  a  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- **risoluzione termica** ovvero la massima differenza in gradi che il sensore può percepire relativamente alla stessa immagine; questo parametro non deve essere confuso con la **precisione termica** che è l'accuratezza della misura rispetto alla scala assoluta della temperatura, la precisione termica in genere nelle videocamere termografiche è del 2% cioè piuttosto bassa questo perché con questi strumenti l'obbiettivo primario non è la misura assoluta della temperatura ma attraverso una buona risoluzione termica ottenere una immagine da cui poter effettuare un'analisi comparativa;
- **risoluzione geometrica del sensore** in genere questo parametro coincide con il numero di pixel che compongono la matrice, varia da  $4\times 4$ ,  $16\times 16$ ,  $120\times 120$ , fino a  $160\times 160$ ,  $200\times 150$ ,  $320\times 240$ , per arrivare ad un massimo di  $680\times 420$ ; ovviamente più è grande la risoluzione geometrica migliore è la capacità di rappresentare termicamente l'oggetto in esame;
- **banda spettrale** del sensore ovvero la zona delle radiazioni infrarosse che la videocamera termografica può analizzare, per le applicazioni elettriche ed elettroniche la più adatta ed impiegata è quella ad onda lunga LWIR;
- **frequenza di acquisizione** delle immagini termiche da parte del sensore, questo parametro è molto importante nel caso di misure in movimento come ad esempio di organi rotanti di un motore oppure a seguito di eccessivi movimenti dell'operatore; in questi casi una bassa frequenza di acquisizione favorirebbe il fenomeno definito in ottica "smearing" (movimento che degrada la nitidezza) che impedisce di ottenere rilievi di temperatura accurati. In genere videocamere termografiche con frequenza di acquisizione inferiore a 33 Hz possono essere impiegate correttamente solo per rilievi statici e posizionate su appositi cavalletti, quelle con frequenza fino a 60 Hz possono essere impiegate correttamente per rilievi elettromeccanici e quelle con frequenza oltre 60 Hz fino a 2 kHz possono essere impiegate per rilievi strutturali.

# L'operatore termografico

Per quanto possano essere tecnologicamente avanzate ed estremamente semplici da usare, le moderne apparecchiature termografiche da sole non bastano per eseguire correttamente un rilievo termografico, per eseguire correttamente un termogramma occorre infatti essere a conoscenza di una vasta gamma di nozioni tecniche relative al campo di utilizzazione ad esempio in edilizia, in meccanica o in elettrotecnica ed elettronica, ma in modo particolare occorre essere a conoscenza di nozioni di **ottica** ad esempio in funzione della lente utilizzata e della distanza dall'oggetto si possono ottenere differenti inquadrature e di conseguenza differenti dimensioni degli oggetti rilevabili e misurabili, ma soprattutto avere un'ottima conoscenza della **termodinamica** che è la scienza che studia l'energia termica ovvero il calore in tutte le sue utilizzazioni e trasformazioni.

Per fare un esempio basta pensare alla valutazione di un **campo visivo FOV (Field Of View)** e di conseguenza di un **campo visivo istantaneo IFOV (Istantaneous Field Of View)** che corrisponde al più piccolo dettaglio rilevabile; dato che il FOV e di conseguenza l'IFOV aumentano all'aumentare della distanza dell'oggetto dall'obiettivo, occorre valutare con molta attenzione le dimensioni dell'oggetto da analizzare il quale, al fine di ottenere dati sufficientemente precisi e tecnicamente validi, deve avere dimensioni molto più grandi rispetto ad un pixel della videocamera termografica, in figura 6 sono rappresentate le diverse immagini termiche ottenibili in funzione di FOV e IFOV con una risoluzione di 320x240 pixel e un obiettivo con caratteristiche standard.

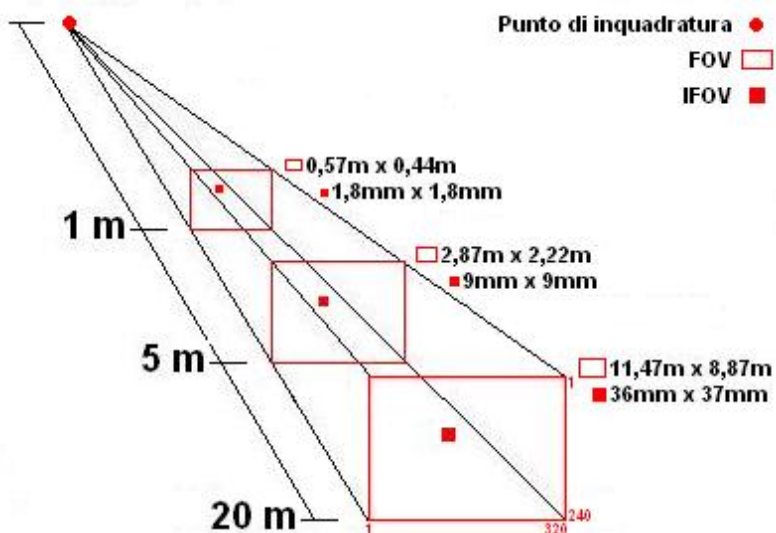


Fig.6: Rappresentazione del campo visivo

Un altro esempio è quello legato alla perfetta conoscenza delle leggi fondamentali della termodinamica quali i concetti di **conduzione, convezione ed irraggiamento** nonché quello di **emissività e riflessione**; un materiale che ha un fattore di emissività uguale o minore di 0,6 presenta un fattore di riflessione elevato, in questo caso i risultati del termogramma devono essere interpretati con attenzione in quanto nel rilievo della temperatura è necessario tenere conto anche della temperatura riflessa. In un rilievo termografico inoltre occorre valutare con molta attenzione l'aria che è il mezzo interposto nelle operazioni di rilevamento, occorre infatti tenere presente che l'aria rispetto alle radiazioni infrarosse presenta delle zone di trasparenza alternate ad altre che presentano forti attenuazioni, fino a distanze di alcuni metri l'aria è sufficientemente trasparente e problemi possono insorgere in analisi a distanza come rilievi in linee elettriche di alta tensione ove occorre effettuare rilievi con diverse lunghezze d'onda infrarosse.

La figura professionale che ha le adeguate competenze per eseguire correttamente un'analisi termografica certificata, che rientra nella categoria delle PnD (Prove non Distruttive), è l'**operatore termografico o termografo**. L'enciclopedia italiana Treccani definisce testualmente le PnD «quegli esami o controlli ovvero quegli insiemi di accertamenti e rilievi che si compiono su materiali metallici e non metallici, atti a riscontrare e/o misurare e/o determinare le composizioni e le caratteristiche di essi, i difetti e le discontinuità strutturali, e che comprendono la diagnosi e la ricerca delle cause di malfunzionamento di strutture, oggetti, assieme, impianti, manufatti, sistemi, ecc. Tutto ciò senza prelievo di materiale o distruzione alcuna (da cui nasce la definizione) anche a livello microscopico e senza compromettere la funzionalità del componente.» La figura ideale per assumere la qualifica di termografo, relativamente all'impiantistica elettrica, non può che essere il

professionista che possiede principalmente le necessarie competenze tecniche elettriche e/o elettroniche e conoscenze approfondite di tutti i componenti, ovvero il progettista o l'installatore. Attualmente però non ci sono normative per le quali sia richiesta in maniera esplicita la qualifica o la certificazione di operatore termografico, ad oggi l'attestazione di termografo viene richiesta solo per le perizie tecniche del Tribunale e per le verifiche su impianti pubblici. Considerato però che le PND sono classificate come "processi speciali" è necessario che il personale addetto sia qualificato e certificato, a questo proposito esistono due principali normative di certificazione per la qualifica di termografo:

- **norma europea UNI EN ISO 9712 del 2012** prevede che gli operatori siano qualificati solo da enti terzi autorizzati tra i quali il CICPnD (Comitato Italiano di Coordinamento per le Prove non Distruttive), il R.I.Na. (Registro Italiano Navale), l'IIS (Istituto Italiano della Saldatura). Questa normativa prevede tre livelli di qualifica ed il superamento di un esame per ogni metodo di controllo per il quale si intende qualificarsi:
  1. **livello I base** può effettuare un'indagine termografica in base a precise istruzioni scritte o sotto la supervisione di personale qualificato di II e/o III livello;
  2. **livello II intermedio** può effettuare una indagine termografica in piena autonomia e può firmare e certificare una perizia tecnica;
  3. **livello III superiore** è in grado di eseguire il progetto completo di un rilievo termografico dalle modalità ai tempi di esecuzione fino alla scelta degli strumenti adatti, può inoltre coordinare il personale qualificato di livello I e II;
- **norma americana ASME** (American Society of Mechanical Engineers), prevede che gli operatori siano qualificati secondo la raccomandazione SNT-TC-1A emessa dall'ASNT (American Society for Non Destructive Testing). Questa normativa prevede che gli operatori siano qualificati solo dal datore di lavoro che deve definire con una procedura scritta (Written Practice) le condizioni adottate per la qualificazione del personale in accordo con la raccomandazione SNT-TC-1A, questa certificazione ha validità limitata esclusivamente agli ambiti lavorativi della ditta che ha emesso la certificazione e decade nel momento in cui viene a cessare il rapporto di lavoro. Anche questa normativa prevede tre livelli di qualifica: livello I base, livello II intermedio, livello III superiore.

## La manutenzione elettrica con la videocamera termografica

Uno dei settori in cui appare evidente il vantaggio dell'utilizzo della termografia è quello della manutenzione nel campo dell'impiantistica elettrica dove il passaggio di corrente elettrica attraverso i conduttori e/o i vari componenti come quadri di distribuzione, trasformatori, interruttori di protezione, motori, condensatori, ecc, provoca un riscaldamento a causa dell'effetto Joule ( $P = I^2 \cdot R$ ). Analizzando il fenomeno in termini termografici la presenza di punti caldi dovuti a questo riscaldamento indica una corrispondente maggiore densità di corrente o una maggiore resistenza di contatto, fattori questi che portano ad un aumento della potenza dissipata in calore. Nel caso in cui il calore dissipato raggiunge un valore eccessivo tale da mettere in serio pericolo il corretto funzionamento delle apparecchiature e dei cavi di collegamento è molto difficile da individuare ad occhio nudo o con strumenti tradizionali come i termometri perché, soprattutto in impianti di grossa potenza effettuare misure di temperatura a contatto di cavi e/o sbarre e/o assi rotanti risulta di difficile applicazione e soprattutto molto pericoloso per l'incolumità dell'operatore.

**E' per questi motivi che al fine di ottenere risultati più precisi ed attendibili è consigliabile eseguire un'analisi termografica solo dopo aver tenuto l'impianto elettrico in funzione a pieno carico per almeno un'ora.**

Da quanto esposto si evince dunque come un'analisi termografica effettuata tramite l'impiego di una videocamera termografica sia uno strumento assolutamente indispensabile per pianificare una corretta manutenzione preventiva e/o correttiva individuando eventuali punti deboli dell'impianto e delle apparecchiature; attualmente anche la maggior parte delle compagnie di assicurazione sono molto interessate all'utilizzo degli strumenti termografici offrendo polizze più vantaggiose a tutte quelle aziende che dimostrano con opportuni report l'utilizzo di questa tecnica di prevenzione guasti. La tempestiva individuazione di un **punto caldo (hot spot)** in un collegamento in cavo, in una morsettiera, in una sbarra o in un qualsiasi componente all'interno di un quadro elettrico, può evitare le conseguenze visibili in figura 7.



Fig.7: Incendio in un quadro elettrico

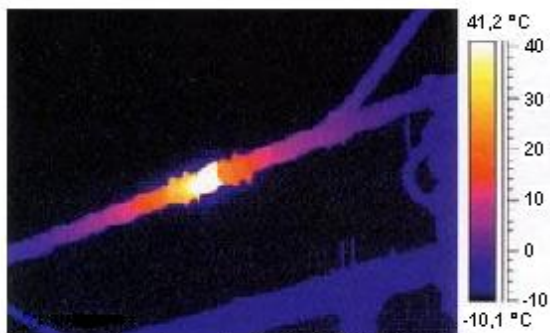
Di seguito si riporta un elenco delle principali utilizzazioni della termografia nel settore elettrico:

- controllo di conduttori elettrici impiegati nella produzione e distribuzione dell'energia elettrica;
- controllo dei componenti di un impianto elettrico quali interruttori, trasformatori, sezionatori, cavi giunti e morsetti;
- individuazione di sovratemperature anomale dovute ad aumento della resistenza di contatto o a malfunzionamento di componenti;
- individuazione di "punti caldi" all'interno di quadri di distribuzione;
- controllo del surriscaldamento nella distribuzione a blindo-sbarra;
- individuazione del surriscaldamento dei fusibili;
- individuazione di sottodimensionamento di cavi di collegamento;
- controllo di impianti elettromeccanici.

Tutte le possibili modalità di applicazione delle videocamere termografiche nell'ambito dei sistemi elettrici possono essere divise in due grandi categorie: **applicazioni per alta tensione e applicazioni per bassa tensione**.

– **Applicazioni per alta tensione** in questo settore è possibile rilevare: ossidazione e surriscaldamento di sezionatori ed interruttori, surriscaldamento e serraggio di collegamenti e morsetti, guasto di isolatori, in figura 8 alcuni esempi;





Connessione in un impianto AT di distribuzione



Ossidazione di una connessione di un isolatore

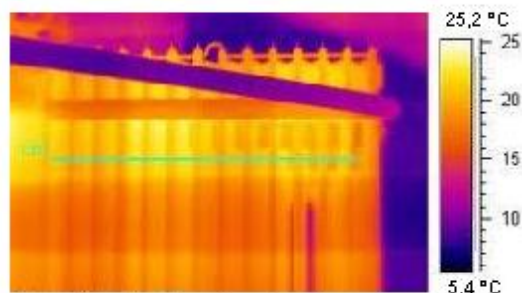
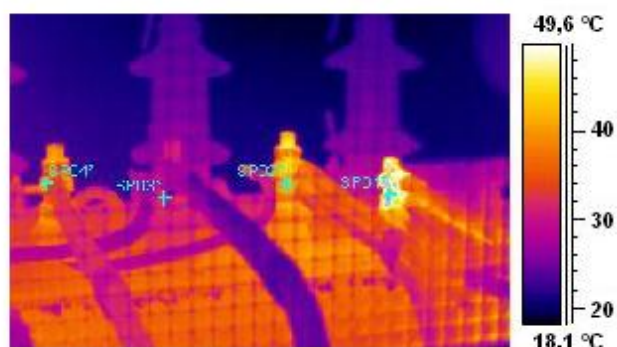


Immagine termica di un trasformatore



Morsetti BT di un trasformatore

Fig.8: Alcuni esempi di rilievi termografici in alta tensione.

– **Applicazioni per bassa tensione** in questo settore è possibile effettuare: verifica di morsettiere, cablaggi, cavi; verifica di connessioni e contatti; verifica dell'equilibrio del carico sulle fasi; verifica dei fusibili; verifica dei motori elettrici, in figura 9 e 10 alcuni esempi.

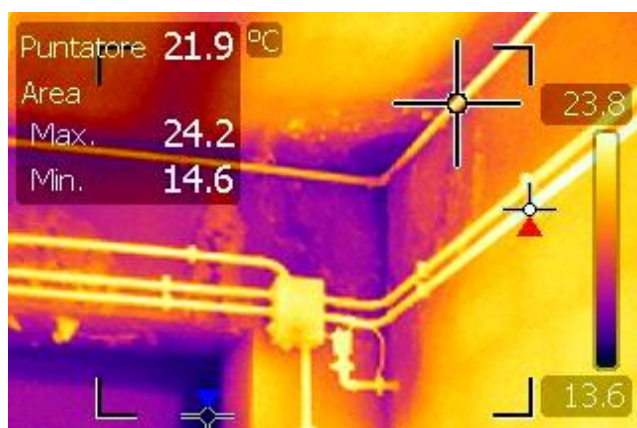


Fig.9: Verifica termografica di condutture a vista in bassa tensione

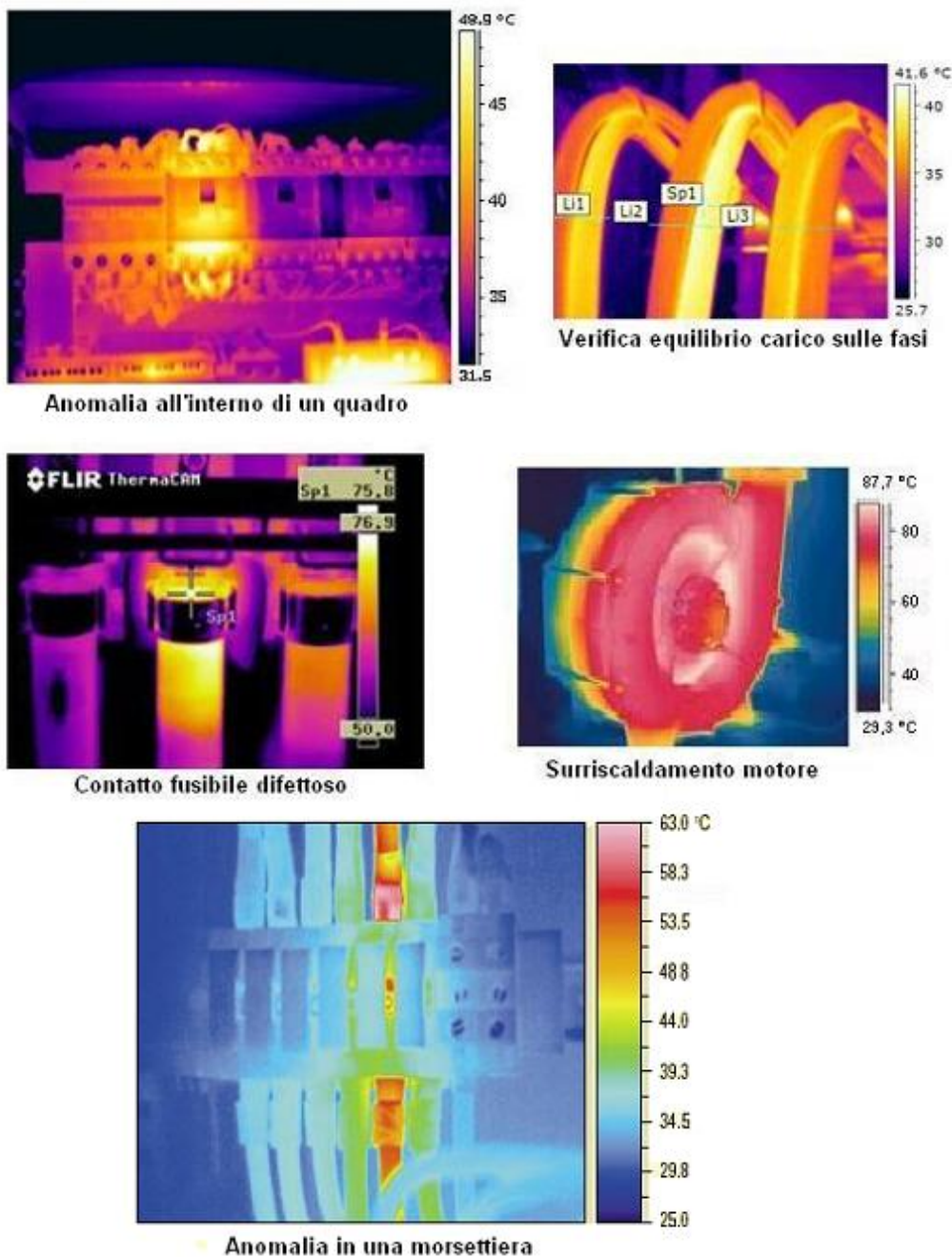


Fig.10: Alcuni esempi di rilievi termografici in bassa tensione

## Alcuni consigli utili

Non effettuare mai misurazioni termografiche attraverso il vetro che è una sostanza opaca alle radiazioni infrarosse, in questo caso la videocamera termografica misura esclusivamente la temperatura superficiale del vetro e non quella presente dietro ad esso, al contrario i raggi del sole passano attraverso il vetro e potrebbero alterare la temperatura superficiale dell'oggetto di misura ad esempio un quadro elettrico o un motore.

Per ottenere una immagine termografica corretta sono di estrema importanza le condizioni ambientali che devono essere le più stabili possibili, in pratica temperatura e presenza di oggetti vari nell'ambiente di misura non devono cambiare, a tale proposito è bene rispettare le seguenti condizioni prima e durante la misura:

- Assenza di raggi solari diretti;
- Assenza di vento o correnti d'aria;
- Esatta conoscenza dell'emissività della superficie dell'oggetto da misurare;
- Al fine di individuare e poter valutare il contributo di eventuali riflessioni è bene rilevare più immagini termografiche dell'oggetto di misura da angolazioni diverse;
- Mantenere l'area di misura più piccola rispetto all'oggetto di misura a tale scopo scegliere una distanza di misura quanto più piccola possibile e soprattutto valutare e schermare tutte le possibili fonti di interferenza;

- In caso di manutenzione periodica è bene documentare in modo specifico tutte le condizioni ambientali e le misure al fine di poterle utilizzare per l'analisi successiva;
- Per una maggiore sicurezza dell'operatore e una migliore misurazione dei dettagli è consigliabile utilizzare un apposito cavalletto per il fissaggio della videocamera termografica.

## Conclusione

Da quanto esposto, allo scopo di eseguire una efficace manutenzione preventiva e correttiva in campo elettrico, non vi è alcun dubbio che l'impiego di strumenti termografici debba essere considerato assolutamente indispensabile, con l'applicazione delle tecniche termografiche infatti è possibile ottenere i seguenti vantaggi:

- Produrre un'immagine che equivale all'utilizzo contemporaneo di migliaia di termocoppie o pirometri;
- Misurare ed elaborare nel tempo la temperatura di qualsiasi componente elettrico ed elettronico senza la necessità di alcun contatto diretto;
- Misurare ed analizzare nel tempo la temperatura in aree pericolose, ad esempio quadri primari di distribuzione, trasformatori MT/BT, cabine di trasformazione, grandi apparecchiature industriali;
- Produrre termogrammi con l'apprezzamento di differenze di temperatura dell'ordine dei centesimi di grado;
- Individuare materiali e componenti difettosi prima che raggiungano uno stato di pericolosità, riducendo il pericolo di eventi quali incendi o blocchi improvvisi di produzione;
- Effettuare misurazioni di temperatura con gli impianti a pieno regime senza interruzione di energia elettrica;
- Rilevare in tempo reale il calore superficiale prodotto da qualsiasi apparecchiatura e/o componente elettrico ed elettronico con possibilità di salvare, elaborare ed inviare a distanza una enorme quantità di dati.

Per contro ci sono le seguenti limitazioni:

- Spesso è necessario schermare la videocamera termografica dalle emissioni ambientali;
- La necessità di un operatore qualificato in grado di interpretare correttamente le immagini rilevate;
- Il costo ancora troppo elevato.

Concludendo questa breve trattazione sull'uso della termografia in campo elettrico si può senza ombra di dubbio affermare che nonostante l'impiego di una videocamera termografica implichi un investimento di grande rilevanza sia per il costo dell'apparecchiatura che per quelli relativi alla formazione di un operatore specializzato, i vantaggi che si possono ottenere producono risparmi tali da coprire agevolmente le spese effettuate.