

**FLUKE**®

Creata in collaborazione  
con Fluke Corporation  
e The Snell Group

*Introduzione ai*

# principi della termografia



AMERICAN TECHNICAL PUBLISHERS, INC.  
ORLAND PARK, ILLINOIS 60467-5756



*L'introduzione ai Principi della termografia* riporta le procedure comunemente utilizzate nel settore industriale e commerciale. Le procedure specifiche variano in base alle diverse operazioni e devono essere eseguite da personale qualificato. Per una massima protezione, fare sempre riferimento alle raccomandazioni specifiche del costruttore, alle norme assicurative, alle procedure specifiche dell'ambiente di lavoro e dell'impianto, alle normative federali, statali e locali applicabili e a ogni autorità competente. Il materiale contenuto in questo manuale riporta le istruzioni per l'utente. American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation, The Snell Group declinano ogni responsabilità per pretese, perdite, o danni, compresi i danni alla proprietà o lesioni personali, verificatisi a seguito dell'ottemperanza a queste informazioni

© 2009 di American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation, e The Snell Group.  
Tutti i diritti riservati

1 2 3 4 5 6 7 8 9 – 09 – 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Stampato nei Paesi Bassi

ISBN 978-0-8269-1535-1





# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE ALLA TERMOGRAFIA A INFRAROSSI E ALLE TERMOCAMERE</b>	<b>1</b>
	<i>Termografia ad infrarossi • Storia della tecnologia a infrarossi • Funzionamento della termocamera</i>	
<b>2</b>	<b>TERMOGRAFIA E ROI</b>	<b>9</b>
	<i>Ricerca guasti</i>	
<b>3</b>	<b>FORMAZIONE E SICUREZZA</b>	<b>13</b>
	<i>Certificazione e qualifica del tecnico di termografia • Sicurezza sul posto di lavoro • Standard e procedure scritte di ispezione</i>	
<b>4</b>	<b>TEORIA PRATICA APPLICATA</b>	<b>19</b>
	<i>Termodinamica di base • Metodi di trasferimento di calore • Precisione della misura della temperatura</i>	
<b>5</b>	<b>IMMAGINI TERMICHE A COLORI DELLE APPLICAZIONI</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>APPLICAZIONI DELLA TERMOGRAFIA</b>	<b>45</b>
	<i>Applicazioni elettriche • Applicazioni elettromeccaniche e meccaniche • Applicazioni di processo • Diagnostica di edifici</i>	
<b>7</b>	<b>METODOLOGIE DI ISPEZIONE</b>	<b>57</b>
	<i>Termografia comparativa • Termografia base • Andamenti termici</i>	
<b>8</b>	<b>ANALISI, RAPPORTI E DOCUMENTAZIONE</b>	<b>61</b>
	<i>Analisi di ispezione • Report e Documentazione</i>	
<b>9</b>	<b>RISORSE DELLA TERMOGRAFIA</b>	<b>63</b>
	<i>Risorse</i>	
<b>10</b>	<b>ALTRE TECNOLOGIE AFFINI</b>	<b>65</b>
	<i>Ispezione acustica e visiva • Analisi elettrica • Rilevamento di ultrasuoni a propagazione aerea • Rilevamento di ultrasuoni a propagazione aerea • Analisi dell'olio lubrificante • Analisi delle particelle usurate</i>	
	<b>INDICE</b>	<b>67</b>



*L'introduzione ai principi della termografia*, creata in collaborazione con Fluke Corporation e The Snell Group, ha lo scopo di fornire una introduzione ai principi e alle procedure di funzionamento delle termocamere. Le termocamere sono diventate strumenti diagnostici essenziali per la ricerca guasti e la manutenzione preventiva da parte di elettricisti e tecnici in applicazioni industriali, di processo e commerciali. Le termocamere sono, inoltre, uno strumento chiave per le società che forniscono servizi in quanto preziosi strumenti di diagnostica per l'edilizia e per le industrie specializzate nelle ispezioni. *L'introduzione ai principi della termografia* spiega l'utilizzo delle termocamere dal punto di vista teorico, funzionale e delle applicazioni.

Ulteriori informazioni sugli strumenti di misura, la ricerca guasti, la manutenzione e sui principi delle applicazioni nel settore edile sono reperibili dal sito Web di Fluke Corporation all'indirizzo [www.fluke.com/thermography](http://www.fluke.com/thermography), dal sito Web di The Snell Group all'indirizzo [www.thesnellgroup.com](http://www.thesnellgroup.com), e dal sito Web di American Technical Publishers, Inc. all'indirizzo [www.go2atp.com](http://www.go2atp.com).

L'editore



# INTRODUZIONE ALLA TERMOGRAFIA A INFRAROSSI E ALLE TERMOCAMERE

**Il funzionamento delle termocamere si basa sui principi della termografia a infrarossi. Una termocamera è un conveniente e spesso anche remunerativo strumento di misura per la ricerca guasti, la manutenzione e l'ispezione degli impianti elettrici, i sistemi elettrici e per l'isolamento termico degli edifici.**

## **TERMOGRAFIA A INFRAROSSI**

La termografia è la scienza dell'utilizzo di dispositivi ottici elettronici capaci di rilevare e misurare la radiazione e metterla in relazione con la temperatura superficiale. La radiazione è lo spostamento di calore che si verifica quando l'energia radiante (onde elettromagnetiche) si sposta senza un mezzo di trasferimento diretto. La moderna termografia a infrarossi viene eseguita mediante dispositivi ottici elettronici che rilevano e misurano la radiazione mettendola in relazione con la temperatura superficiale della struttura o dell'apparecchiatura ispezionata.

L'uomo è sempre stato in grado di rilevare la radiazione infrarossa. Le terminazioni nervose della cute umana sono in grado di reagire a differenze di temperatura minime pari a  $\pm 0,005^{\circ}\text{C}$  ( $0,009^{\circ}\text{F}$ ). Sebbene estremamente sensibili, le terminazioni nervose nell'uomo non sono particolarmente adatte ad una valutazione termica non distruttiva.

Ad esempio, se anche l'uomo avesse le capacità termiche degli animali che riescono a individuare anche al buio le prede a sangue caldo, è probabile che gli ci vorrebbero comunque degli strumenti per il rilevamento del calore migliori. Poiché l'uomo ha delle limitazioni fisiche nel rilevamento del calore, sono stati sviluppati dei dispositivi meccanici ed elettronici ipersensibili al calore. Tali dispositivi sono comunemente

usati per le ispezioni termiche di numerose applicazioni.

## **STORIA DELLA TECNOLOGIA A INFRAROSSI**

Il termine "infrarosso" significa "oltre il rosso", in riferimento alla posizione occupata da questa lunghezza d'onda nello spettro della radiazione elettromagnetica. Il termine "termografia" deriva da due parole con il significato di "immagine della temperatura." Le origini della termografia possono essere attribuite all'astronomo tedesco Sir William Herschel che, nel 1800, eseguì degli esperimenti con la luce solare.



*Un'immagine termica del calore residuo trasferito da una mano alla superficie di una parete dipinta, è facilmente rilevabile con una termocamera.*

Herschel scoprì la radiazione infrarossa facendo passare la luce solare attraverso un prisma e posizionando un sensibile termometro al mercurio nei vari colori che misurava la temperatura di ciascun colore. Herschel si accorse che la temperatura aumentava quando si spostava oltre la luce rossa in un'area che poi chiamò "calore oscuro". Il "calore oscuro" era la regione dello spettro elettromagnetico attualmente nota come calore infrarosso e riconosciuta come radiazione elettromagnetica.

Vent'anni dopo, il fisico tedesco Thomas Seebeck scoprì l'effetto termoelettrico. Questo portò all'invenzione del termomoltiplicatore, una prima versione di termocoppia, ad opera del fisico italiano Leopoldo Nobili nel 1829. Questo semplice dispositivo a contatto si basa sul presupposto che la differenza di tensione tra due metalli diversi varia con la temperatura. Il collega di Nobili, Macedonio Melloni, poco dopo perfezionò il termomoltiplicatore in una termopila (una disposizione di termomoltiplicatori in serie) convergendo la radiazione termica su di essa in modo da poter rilevare il calore corporeo da una distanza di 9,1 m.

Nel 1880, l'astronomo americano Samuel Langley utilizzò un bolometro per rilevare il calore corporeo di una mucca da una distanza di 304 m. Anziché misurare la differenza di tensione, il bolometro misura la variazione della resistenza elettrica rispetto alla variazione di temperatura. Il figlio di Sir William Herschel, Sir John Herschel, utilizzando un dispositivo chiamato evaporigrafo, produsse la prima immagine a infrarossi nel 1840. L'immagine termica derivava dall'evaporazione differenziale di un sottile film di olio ed era visibile grazie alla luce riflessa della pellicola di olio.

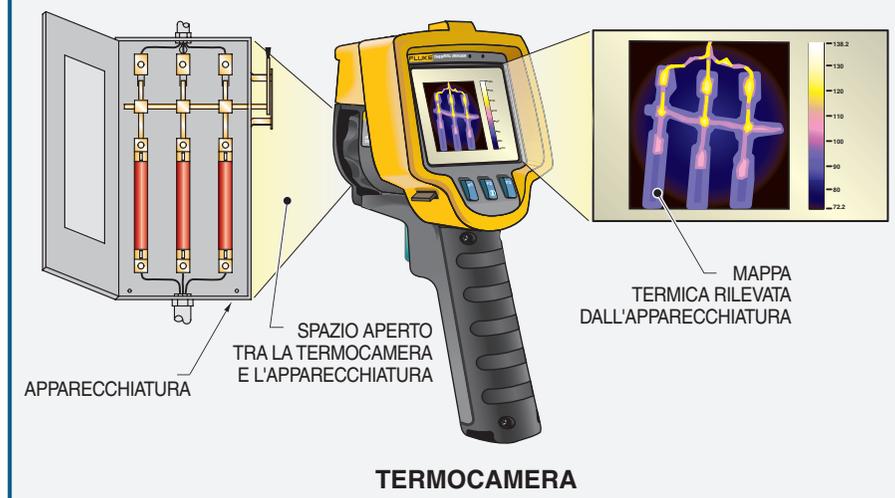
Una *termocamera* è un dispositivo che rileva le mappe termiche nello spettro della lunghezza d'onda a infrarossi senza stabilire un contatto diretto con l'apparecchiatura. **Vedere la figura 1-1.** Le prime versioni delle termocamere erano note come rilevatori fotoconduttori. Dal 1916 al 1918, l'inventore americano Theodore Case condusse degli esperimenti con i rilevatori fotoconduttori per produrre un segnale attraverso l'interazione diretta con fotoni piuttosto che mediante riscaldamento. Il risultato fu un rilevatore fotoconduttore più veloce e sensibile. Durante gli anni 40 e 50, la tecnologia della termografia si sviluppò per soddisfare un numero crescente di applicazioni militari. Gli scienziati tedeschi scoprirono che raffreddando il rilevatore fotoconduttore le prestazioni miglioravano.

Ma bisogna aspettare gli anni 60 per l'utilizzo della termografia nelle applicazioni non militari. Sebbene i primi sistemi termografici fossero ingombranti, lenti nell'acquisizione dei dati e con una risoluzione ridotta, essi venivano utilizzati per applicazioni industriali quali il controllo di grandi impianti di distribuzione e trasformazione elettrica. Gli ulteriori sviluppi avvenuti nel corso degli anni 70 per le applicazioni militari produssero i primi sistemi portatili, da utilizzare per applicazioni quali la diagnostica degli edifici e i test non distruttivi sui materiali.

### **SUGGERIMENTO TECNICO**

*Le prime versioni delle termocamere visualizzavano le immagini termiche attraverso l'uso di tubi a raggi catodici (CRT) in bianco e nero. Le registrazioni permanenti erano rese possibili dalle fotografie o da un nastro magnetico.*

## Termocamere



**Figura 1-1.** Una termocamera è un dispositivo che rileva mappature termiche nello spettro della lunghezza d'onda a infrarossi senza stabilire un contatto diretto con l'apparecchiatura.

I sistemi di termografia degli anni 70 erano resistenti e affidabili, ma la qualità era piuttosto scarsa se paragonata alle moderne termocamere. All'inizio degli anni 80, la termografia era largamente utilizzata per scopi medici, nell'industria tradizionale e per le ispezioni degli edifici. I sistemi di termografia erano calibrati per produrre immagini completamente radiometriche, in modo che le temperature radiometriche potessero essere misurate in qualunque punto dell'immagine. Un'immagine radiometrica è un'immagine termica contenente in ogni punto dell'immagine i calcoli della misura della temperatura.

I sistemi di raffreddamento vennero perfezionati per sostituire il gas compresso o liquefatto fino ad allora utilizzato per raffreddare le termocamere. Anche i meno costosi sistemi di termografia in tubi in vidicon piroelettrico (PEV) furono sviluppati e prodotti su larga scala. Sebbene non radiometrici, i sistemi di termografia PEV erano leggeri, portatili e azionabili senza raffreddamento.

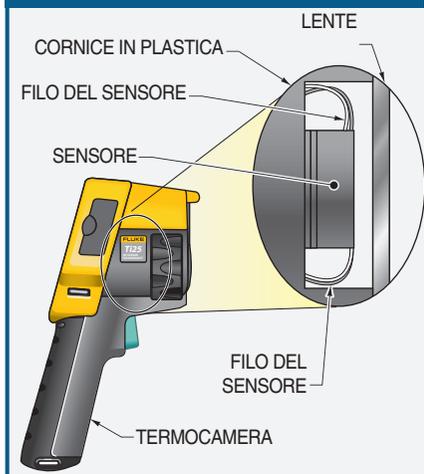
Alla fine degli anni 80, un nuovo dispositivo chiamato matrice su piano focale (FPA) già disponibile sul mercato militare, fu lanciato anche sul mercato commerciale. Una *matrice su piano focale (FPA)* è un dispositivo sensibile alle immagini composto da una matrice (in genere rettangolare) di rilevatori sensibili all'infrarosso sul piano focale dell'obiettivo. **Vedere la figura 1-2.**

Questo ha rappresentato un progresso significativo rispetto ai rilevatori a scansione originali migliorando quindi la qualità dell'immagine e la risoluzione spaziale. In genere le matrici delle moderne termocamere dispongono di pixel che vanno da  $16 \times 16$  a  $640 \times 480$ . Un *pixel*, in questo senso, è il più piccolo elemento indipendente di un FPA in grado di rilevare energia infrarossa. Per applicazioni speciali, le matrici sono disponibili con pixel aggiuntivi fino a  $1000 \times 1000$ . Il primo numero rappresenta la quantità di colonne verticali, mentre il secondo rappresenta

il numero di righe orizzontali visualizzate sullo schermo. Ad esempio, una matrice di  $160 \times 120$  corrisponde a 19.200 pixel totali ( $160 \text{ pixel} \times 120 \text{ pixel} = 19.200 \text{ pixel totali}$ ).

Lo sviluppo della tecnologia FPA con l'utilizzo di vari sensori è aumentato continuamente

### Matrici su piano focale



**Figura 1-2.** Una matrice su piano focale (FPA) è un dispositivo sensibile alle immagini composto da una matrice (in genere rettangolare) di pixel sensibili all'infrarosso sul piano focale dell'obiettivo.

dal 2000. Una *termocamera a onda lunga* è una termocamera in grado di rilevare energia infrarossa in una banda di lunghezza d'onda compresa tra  $8 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$ . Un *micron* ( $\mu\text{m}$ ) è un'unità di misura di lunghezza corrispondente a un millesimo di millimetro ( $0,001 \text{ mm}$ ). Una *termocamera a onda media* è una termocamera in grado di rilevare energia infrarossa in una banda di lunghezza d'onda compresa tra  $2,5 \mu\text{m}$  e  $6 \mu\text{m}$ . Entrambi questi sistemi di termografia sono ora disponibili nelle versioni completamente radiometriche, spesso con fusione delle immagini e sensibilità termiche di  $0,09^\circ\text{C}$  ( $0,05^\circ\text{F}$ ) o inferiori.

Il costo di questi sistemi è calato nettamente durante lo scorso decennio e nello stesso tempo

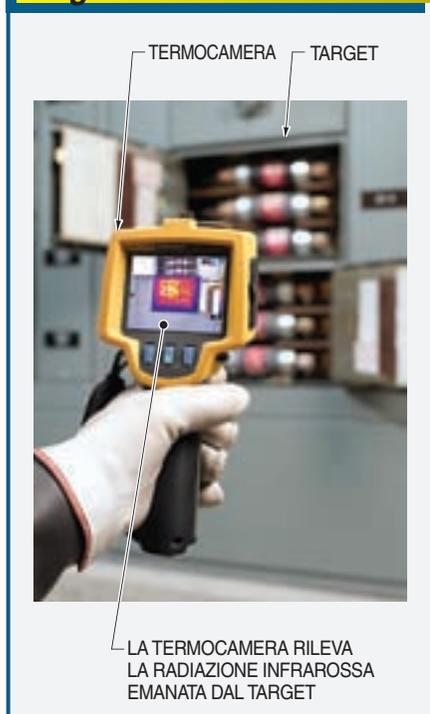
la qualità è aumentata notevolmente. Inoltre, l'utilizzo di software per l'elaborazione di immagini è cresciuto in maniera esponenziale. Quasi tutti i moderni sistemi a infrarossi disponibili in commercio utilizzano software per facilitare l'analisi e la stesura di report. È possibile creare rapidamente dei report e inviarli in formato elettronico su internet o conservarli in un formato comune, ad esempio in PDF, e registrarli su vari tipi di dispositivi di archiviazione digitale.

### FUNZIONAMENTO DELLA TERMOCAMERA

È di grande utilità avere una comprensione a livello generale del funzionamento delle termocamere, in quanto è essenziale che un termografo possa lavorare nonostante i limiti dell'apparecchiatura a sua disposizione. Ciò consente un rilevamento e un'analisi estremamente accurati dei potenziali problemi. L'obiettivo di una termocamera è rilevare la radiazione infrarossa emanata dal target. **Vedere la figura 1-3.** Il *target* è un oggetto che deve essere ispezionato mediante una termocamera.

La radiazione infrarossa viene proiettata dai dispositivi ottici della termocamera su un rivelatore provocandone una reazione, solitamente una variazione di tensione o di resistenza elettrica, che verrà poi misurata dai dispositivi elettronici del sistema termografico. Il segnale prodotto dalla termocamera viene convertito in un'immagine elettronica (termogramma) su uno schermo. Un *termogramma* è l'immagine di un target elaborato elettronicamente su un display in cui toni di colore differenti corrispondono alla distribuzione della radiazione infrarossa sulla superficie del target. In questo semplice processo, il termografo è in grado di vedere il termogramma che corrisponde all'energia radiante proveniente dalla superficie del target.

## Target

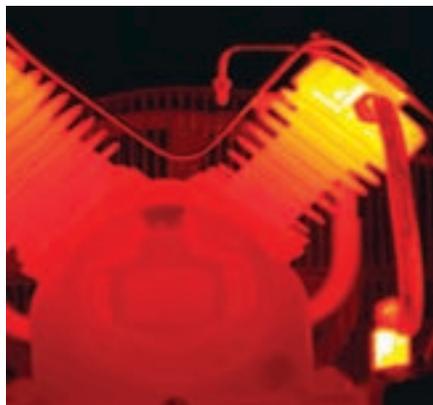


**Figura 1-3.** Il target è un oggetto che deve essere ispezionato mediante una termocamera. L'obiettivo di una termocamera è rilevare la radiazione infrarossa emanata dal target.

## Componenti di una termocamera

In genere, le termocamere sono costituite da diversi elementi comuni, tra cui obiettivi, copriobiettivi, display, rivelatore ed elementi elettronici di elaborazione, comandi, dispositivi di archiviazione dati e un software di creazione report. Tali componenti possono variare a seconda del tipo e del modello di termocamera.

**Verdere la figura 1-4.**



*Un termogramma viene elaborato elettronicamente su un display in cui toni di colore differenti corrispondono alla distribuzione della radiazione infrarossa sulla superficie del target.*

**Obiettivi.** Le termocamere sono dotate di almeno un obiettivo. L'obiettivo inquadra la radiazione infrarossa e la proietta su un rivelatore di infrarossi. Il sensore reagisce creando un'immagine elettronica (termica) o un termogramma. La lente di una termocamera viene utilizzata per raccogliere e convergere la radiazione infrarossa in ingresso sul rivelatore. Le lenti degli obiettivi della maggioranza delle termocamere a onda lunga sono realizzate in germanio (Ge). Dei sottili strati di rivestimento antiriflesso migliorano la trasmissione delle lenti.

## SUGGERIMENTO TECNICO

*A causa della continua esigenza di preservare l'energia, i comuni e le agenzie governative utilizzano scansioni aeree a infrarossi derivate da adattamenti di mappe termiche aeree militari. Lo scopo di tali scansioni è offrire alle comunità, ai residenti e alle aziende le informazioni relative ai ponti termici dei loro edifici.*

## Termocamere



**Figura 1-4.** In genere, le termocamere sono costituite da diversi elementi comuni, tra cui obiettivi, copriobiettivi, display, comandi e impugnatura con cinghia di supporto.



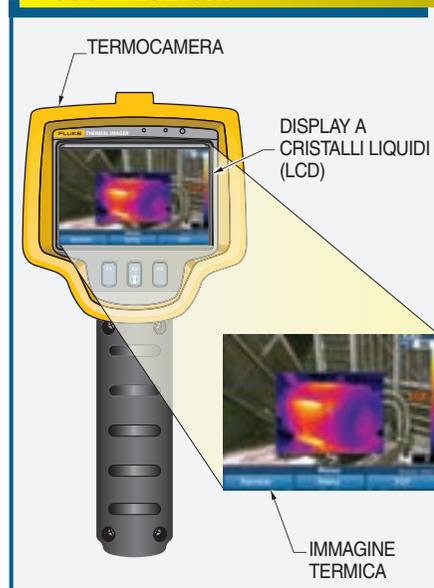
*Le termocamere sono in genere dotate di custodia di trasporto per l'alloggiamento dello strumento, del software e di altre apparecchiature utili per l'utilizzo sul campo.*

**Display.** L'immagine termica viene visualizzata su uno schermo di visualizzazione con display a cristalli liquidi (LCD) posto sulla termocamera. Lo schermo di visualizzazione LCD deve essere abbastanza ampio e luminoso da essere visibile nelle più svariate condizioni di illuminazione riscontrabili nei vari campi di applicazione. Il display può inoltre fornire informazioni quali livello di carica della batteria, data, ora, temperatura del target (in °F, °C, o °K), immagine a luce visibile e uno spettro di colori in relazione alle temperature. **Vedere la figura 1-5.**

**Sensore ed elementi elettronici di elaborazione.** Il rilevatore e gli elementi elettronici di elaborazione vengono usati per elaborare

l'energia ad infrarossi in informazioni utilizzabili. La radiazione termica proveniente dal target viene proiettata sul rilevatore, che in genere è un materiale semiconduttore elettronico. La radiazione termica produce una reazione misurabile dal rilevatore. Tale reazione viene elaborata elettronicamente nella termocamera per produrre un'immagine termica sul display della stessa.

## Visualizzazioni



**Figura 1-5.** L'immagine termica viene visualizzata su un display a cristalli liquidi (LCD) posto sulla termocamera.

**Comandi.** È possibile apportare varie regolazioni elettroniche mediante i comandi per perfezionare un'immagine termica sul display. Le regolazioni elettroniche possono essere apportate a variabili quali gamma di temperatura, livello e intervallo termico, tavolozze di colori e fusione delle immagini. È inoltre possibile apportare delle regolazioni all'emissività e alla temperatura di fondo riflessa. **Vedere la figura 1-6.**

## Comandi



**Figura 1-6.** Tramite i comandi, è possibile regolare variabili importanti quali gamma di temperatura, livello e intervallo termico e altre impostazioni.

**Dispositivi di memorizzazione.** I file digitali contenenti le immagini termiche e i dati ad esse associati sono memorizzati su diversi tipi di schede di memoria elettroniche o dispositivi di archiviazione e trasferimento. Molti sistemi di videocamere a infrarossi consentono anche la

memorizzazione di annotazioni vocali o di testo supplementari nonché di una corrispondente immagine visiva acquisita con una fotocamera integrata.

**Software di elaborazione dati e creazione di report.** Il software utilizzato con i più moderni sistemi di termografia è potente ma anche facile da usare. Le immagini reali e termiche digitali vengono importate in un personal

computer dove potranno essere visualizzate mediante varie tavolozze di colori e dove è possibile apportare ulteriori regolazioni a tutti i parametri radiometrici e le funzioni di analisi. Le immagini elaborate vengono quindi inserite su dei modelli di report, e inviate ad una stampante, memorizzate elettronicamente oppure inviate ai clienti mediante una connessione a internet.



## TERMOGRAFIA E RITORNO SUGLI INVESTIMENTI

**M**ediante l'utilizzo di termocamere, è possibile sfruttare la termografia per eseguire numerose procedure importanti negli ambienti commerciali e industriali, tra cui la ricerca guasti e la manutenzione di apparecchiature, nonché le ispezioni sull'isolamento termico degli edifici. Le termocamere sono sempre state considerate costose. Tuttavia, è possibile ridurre significativamente i costi associati alla manutenzione e ai tempi di fuori servizio imprevisti, grazie all'utilizzo di termocamere per compiti di manutenzione preventiva e predittiva.

### RICERCA GUASTI

La termografia a infrarossi svolge un ruolo importante nella ricerca guasti in ambienti commerciali e industriali. I dubbi relativi alle condizioni delle apparecchiature vengono spesso in seguito a indicazioni di condizioni anomale. Ad un livello più superficiale potrebbe trattarsi semplicemente di una vibrazione, un suono percepibili o di una misura di temperatura. Ad un livello più profondo, l'origine del problema potrebbe essere di difficile o impossibile individuazione.

Una *mappatura termica* è un'immagine a falsi colori dell'energia a raggi infrarossi o del calore emessi da un oggetto. Confrontando la mappatura termica di un'apparecchiatura normalmente funzionante con quella di un'apparecchiatura che manifesta anomalie, si otterrà un ottimo mezzo di ricerca guasti. **Vedere la Figura 2-1.** Tra i vantaggi principali della termografia a infrarossi vi è la rapidità di esecuzione di test non distruttivi sulle apparecchiature. Inoltre, poiché le termocamere non necessitano di contatto, è possibile utilizzarle con l'apparecchiatura o il componente in funzione.

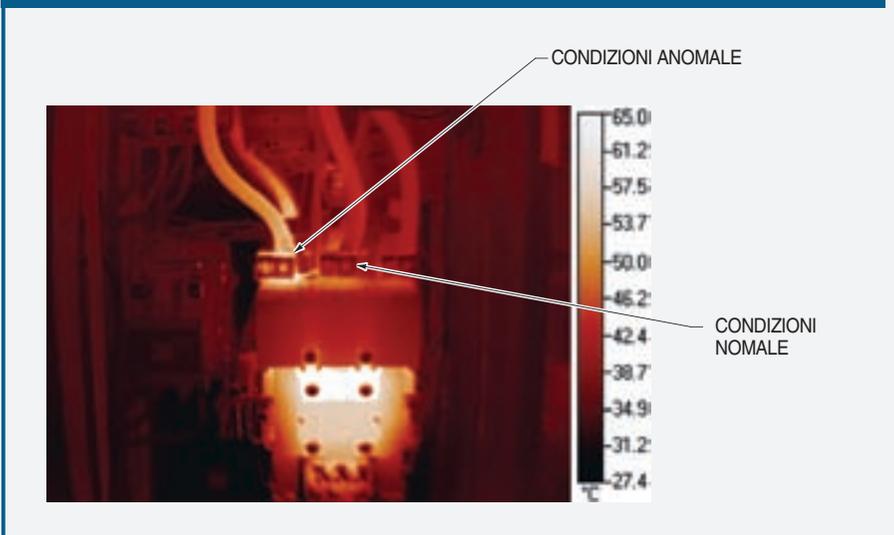
Anche se un termografo non riesce a interpretare a pieno un'immagine termica anomala,

essa può essere comunque utilizzata per stabilire se siano necessari ulteriori test. Ad esempio, risulta facile eseguire una rapida ispezione di un motore elettrico e capire se vi sono irregolarità nei cuscinetti e negli innesti. Un cuscinetto del motore nettamente più caldo rispetto al carter del motore, suggerisce l'eventualità di un problema di lubrificazione o di allineamento. Un problema di allineamento può essere anche segnalato da un lato dell'innesto più caldo rispetto al lato opposto. **Vedere la figura 2-2.**



*Un copricuscinetto molto caldo indica un potenziale problema di allineamento, lubrificazione o problemi nel motore o nell'apparecchiatura ad esso collegata.*

### Mappature termiche



**Figura 2-1.** Le mappature termiche dell'apparecchiatura in funzione sono in grado di indicare velocemente condizioni normali e anomale.

### Ricerca guasti sui cuscinetti del motore



**Figura 2-2.** Un cuscinetto del motore nettamente più caldo rispetto al carter del motore suggerisce l'eventualità di un problema di lubrificazione o di allineamento.

La chiave del successo per una accurata ricerca guasti mediante termografia è la buona conoscenza dei requisiti di base necessari a rilevare potenziali problemi o condizioni anomale, se presenti, in qualunque componente dell'apparecchiatura. Ad esempio, la ricerca guasti mediante termocamera su un interruttore elettrico che non è sotto tensione non ha senso in quanto i potenziali problemi (punti caldi) non saranno visibili se l'interruttore non è attraversato da corrente elettrica. Allo stesso modo, per la riuscita della ricerca guasti in uno scaricatore di condensa, questo deve essere osservato durante un ciclo di esercizio completo.

Conoscere esattamente le condizioni necessarie per la ricerca dei guasti in uno specifico componente dell'apparecchiatura non è sempre facile. Oltre all'esperienza del termografo, per la riuscita della ricerca guasti è necessaria una solida conoscenza di variabili quali il trasferimento del calore, la radiometria, l'uso della termocamera, il funzionamento e i guasti dell'apparecchiatura

per una ricerca guasti ottimale. *La radiometria* è il rilevamento e la misura dell'energia radiante elettromagnetica, più precisamente nella porzione infrarossa dello spettro.

### **Manutenzione preventiva**

*La manutenzione preventiva (MP)* è l'intervento programmato necessario a preservare le massime condizioni operative dell'apparecchiatura. La MP riduce al minimo i malfunzionamenti e i guasti dell'apparecchiatura, mantenendo allo stesso tempo una produttività ottimale e le condizioni di sicurezza all'interno della struttura. Tutto questo aumenta la durata, riduce i tempi di inattività e migliora l'efficienza generale dello stabilimento. La frequenza degli interventi di MP per ciascun componente dell'apparecchiatura vengono stabiliti dalle specifiche del produttore, dai manuali delle apparecchiature, dalle pubblicazioni di settore e dall'esperienza degli utenti.

Una strategia di comprensione globale delle condizioni di funzionamento dell'apparecchiatura tramite la valutazione e il monitoraggio basati sulle condizioni è considerata fondamentale per i programmi di MP. I programmi di MP che includono la valutazione il monitoraggio basati sulle condizioni dell'apparecchiatura possono essere eseguiti più facilmente grazie all'utilizzo di apparecchi termografici. Riesaminando le immagini termiche di un'apparecchiatura, le decisioni relative alla riparazione o sostituzione diventano più efficaci, i costi globali si riducono e l'affidabilità dell'apparecchiatura aumenta. Quando la produzione necessita di un componente di un macchinario perfettamente funzionante, i responsabili di produzione possono essere certi che il componente eseguirà il lavoro nel modo previsto.

La manutenzione consiste in una complicata serie di attività condotte secondo metodi specifici. Negli ultimi anni si è scoperto che molti dei vecchi metodi, attraverso la manutenzione preventiva, causavano più problemi di quanti ne risolvessero.

Inoltre, questi non sempre garantivano un buon ritorno sugli investimenti.

### **Manutenzione predittiva**

*La manutenzione predittiva (MPd)* consiste nel monitoraggio delle condizioni di usura e delle caratteristiche dell'apparecchiatura rispetto a un valore di tolleranza prestabilito, ai fini di prevedere possibili malfunzionamenti o guasti. I dati sul funzionamento dell'apparecchiatura vengono raccolti e analizzati per illustrare le tendenze delle prestazioni e le caratteristiche dei componenti. Le riparazioni vengono effettuate in base alle necessità.

La MPd necessita spesso di investimenti notevoli per il monitoraggio dell'apparecchiatura e l'addestramento del personale. Viene per lo più impiegata per apparecchiature costose o di importanza essenziale. I dati raccolti dal monitoraggio dell'apparecchiatura vengono analizzati regolarmente per stabilire se i valori rientrano nelle tolleranze accettabili. **Vedere la figura 2-3.** Le procedure di manutenzione vengono eseguite se i valori non rientrano nelle tolleranze accettabili. Una volta eseguite le procedure di manutenzione, l'apparecchiatura viene quindi monitorata attentamente. Se il problema persiste, si procederà all'analisi dell'applicazione e del dimensionamento dell'apparecchiatura e alle relative modifiche.

Con un buon programma di MPd, è in genere possibile ridurre la manutenzione preventiva. Determinati interventi di manutenzione, come ad esempio la pulizia e la lubrificazione, vengono eseguiti se effettivamente necessari piuttosto che a intervalli regolari. La termografia viene utilizzata per determinare lo stato di salute di un'apparecchiatura e, se le condizioni sono in dubbio, anche per monitorare l'apparecchiatura fino a quando sarà possibile effettuare un intervento di manutenzione.

Un controllo di accettazione è un controllo eseguito al momento dell'installazione iniziale dell'apparecchiatura, o a seguito della sostituzione di

un componente, ai fini di stabilire una condizione di riferimento di quell'apparecchiatura. La condizione di riferimento è utilizzata per la verifica delle specifiche prestazionali del produttore o per un confronto in momenti successivi. I controlli di accettabilità di apparecchiature nuove o sottoposte a revisione sono fondamentali per i programmi di MPd economicamente convenienti.

Che si tratti di installare un nuovo quadro di controllo motori, un tetto, delle tubazioni di vapore, o di isolare un edificio, la termografia viene utilizzata per documentare le effettive condizioni dell'apparecchiatura al momento dell'accettazione. È possibile utilizzare un'immagine termica per stabilire la corretta esecuzione dell'installazione.

Se viene rilevato un difetto nell'installazione, questo può essere corretto immediatamente o in base alle circostanze, monitorato fino alla programmazione del successivo intervento di riparazione.

Indipendentemente dai programmi di manutenzione adottati in un'azienda, l'utilizzo della termografia e delle termocamere è sempre vantaggioso. Se utilizzate per la ricerca guasti e la manutenzione, i vantaggi riguardano la riduzione dell'inoperosità dell'apparecchiatura e l'aumento del tempo di funzionamento. Altri importanti benefici includono dei sostanziali ritorni sugli investimenti per la manutenzione relativi all'affidabilità, risparmi sui costi grazie a un ridotto numero di ore-lavoro, e un minore senso di frustrazione generale dei tecnici di manutenzione.

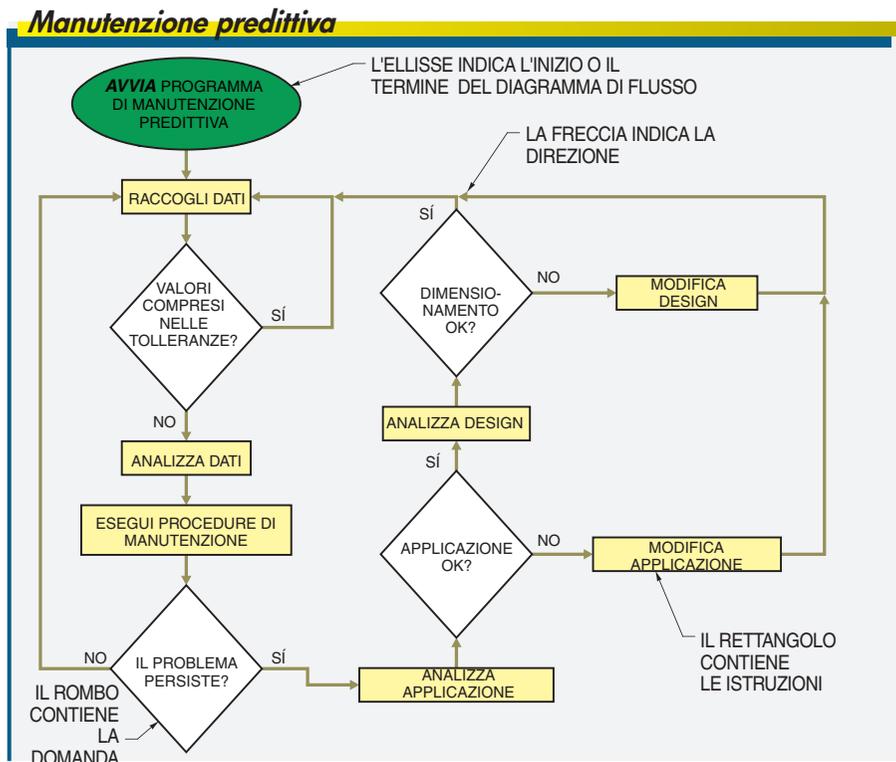


Figura 2-3. La manutenzione predittiva è utilizzata soprattutto per apparecchiature costose o molto importanti in un impianto.



## FORMAZIONE E SICUREZZA

**L**e termocamere possono essere utilizzate per eseguire una grande varietà di attività in ambienti commerciali e industriali. Molte di queste attività possono avere luogo in aree in cui è frequente l'esposizione ai rischi, ad esempio in presenza di apparecchiature elettriche sotto tensione o ad altezze molto elevate. Un'adeguata formazione all'utilizzo delle termocamere insieme all'applicazione delle regole di sicurezza sono necessarie per un'esecuzione efficiente e sicura delle attività richieste. Per una corretta formazione vengono utilizzati numerosi standard e procedure scritte.

### QUALIFICA E CERTIFICAZIONE DI TERMOGRAFO

Imparare ad utilizzare una moderna termocamera è relativamente semplice. Per acquisire sicurezza in genere sono sufficienti una formazione di base e esercizio pratico. Tuttavia, interpretare correttamente un'immagine termica spesso è più difficile. Non sono necessarie solo delle conoscenze nell'applicazione della termografia, ma anche una formazione e un esercizio pratico con le termocamere più estesi e approfonditi.

Per ottenere un pieno ritorno sugli investimenti nella termografia, è importante qualificare e certificare i termografi. Indipendentemente dall'uso specifico della tecnologia, la qualifica di termografo si basa sulla formazione, l'esperienza e la verifica in una delle tre categorie di certificazione. **Vedere la Figura 3-1.**

Sebbene la certificazione di termografo rappresenta un investimento, si tratta di un investimento che offre in genere grandi ritorni. Del personale certificato non solo esegue controlli di qualità superiore, ma tali controlli sono anche più conformi dal punto di vista tecnico. I termografi non certificati commetteranno più facilmente errori costosi e pericolosi. Questi

errori spesso portano a delle conseguenze gravi, come ad esempio dei consigli inesatti sull'importanza dei problemi riscontrati o all'ignorare completamente dei problemi. Se l'appropriata qualifica è importante, le procedure di controllo scritte sono altrettanto importanti per ottenere risultati di alto livello.

<b>Livelli di certificazione per i termografi</b>	
LIVELLO 1	Qualificati per raccogliere dati di elevata qualità e ordinare tali dati in base al criterio scritto passa/non passa.
LIVELLO 2	Qualificati per configurare e calibrare le apparecchiature, interpretare i dati, creare report e dirigere il personale di Livello 1.
LIVELLO 3	Qualificati per sviluppare procedure di controllo, interpretare i relativi codici e gestire un programma, incluse le attività di ispezione, formazione e verifica.

**Figura 3-1.** Esistono tre livelli di certificazione per i termografi.

Negli Stati Uniti, la certificazione viene rilasciata dal datore di lavoro in conformità agli standard dell'American Society for Nondestructive Testing (società americana per i test non distruttivi). L'*American Society for Nondestructive Testing (ASNT)* è un'organizzazione che contribuisce a creare un ambiente più sicuro servendo i professionisti dei test non distruttivi e promuovendo le tecnologie di test non distruttivi attraverso la pubblicazione, la certificazione, la ricerca e le conferenze. In altre parti del mondo, la certificazione viene rilasciata da un organismo di certificazione centrale in ciascun paese conforme agli standard dell'Organizzazione internazionale per la standardizzazione. L'ISO (*Organizzazione internazionale per la standardizzazione*) è un'organizzazione internazionale non governativa composta da istituti nazionali di standardizzazione da oltre 90 paesi.

In entrambi i casi, la qualifica si basa su una formazione adeguata, come evidenziato nei documenti delle relative norme. Sono inoltre necessari un periodo di esperienza di abilitazione e alcuni esami scritti e pratici.

### **SUGGERIMENTO TECNICO**

*Prima di eseguire un'ispezione termica, il termografo deve effettuare il percorso di controllo pianificato per garantire l'efficienza e per individuare eventuali problemi di sicurezza.*

## **SICUREZZA SUL POSTO DI LAVORO**

Un programma di certificazione offre la consapevolezza dei pericoli intrinseci della termografia, nonché la tecnica e le competenze necessarie a garantire la sicurezza sul posto di lavoro. Il senso comune stabilisce gran parte di ciò che è considerato sicuro nella pratica lavorativa,

ma delle precauzioni speciali si applicano spesso ad una specifica applicazione. Ad esempio, i termografi che controllano gli impianti elettrici possono essere maggiormente esposti a potenziali esplosioni dovute a scariche ad arco.

In molti casi, si trovano a controllare apparecchiature sotto tensione che, subito dopo l'apertura dell'alloggiamento, possono generare un arco da fase a fase o da fase a terra. Una *scarica ad arco* è una scarica a temperatura estremamente elevata prodotta da un guasto elettrico nell'aria. Le temperature di una scarica ad arco possono raggiungere i 19.000 °C.

L'*esplosione di un arco* è un'esplosione che si verifica quando l'aria circostante l'apparecchiatura elettrica diviene ionizzata e conduttiva. Il pericolo di esplosione di un arco è presente negli impianti elettrici da 480 V in su.

Un *limite di protezione dalla scarica* è la distanza alla quale sono necessarie le PPE per la prevenzione delle ustioni nel caso si verifichi una scarica ad arco. **Vedere la figura 3-2.** Sebbene un circuito in fase di riparazione non deve mai essere sotto tensione, vi è comunque la possibilità che i circuiti circostanti siano ancora sotto tensione all'interno del limite di protezione dalla scarica. Inoltre, per proteggersi dalle scariche ad arco è necessario utilizzare delle barriere, quali coperte isolanti, oltre alle adeguate PPE. Tuttavia, le conseguenze di un'esplosione di arco sono spesso gravi e mortali. È fondamentale mettere sempre in pratica le norme di sicurezza.

Sebbene il rischio di esplosione di un arco venga ridotto al minimo lasciando chiusi il coperchio o lo sportello di un quadro, in questo modo si perdono anche i vantaggi della termografia in quanto non sarà possibile guardare attraverso le porte dei quadri. **Vedere la figura 3-3.** Tuttavia, molti quadri sono attualmente dotati di speciali finestre o aperture trasparenti agli infrarossi. Tali caratteristiche sono in grado di ridurre il rischio di formazione di archi ed offrono buoni risultati.

<b>Limiti di protezione dalle scariche</b>				
Sistema nominale (tensione, gamma da fase a fase*)	Limite di accesso limitato		Limite di accesso ristretto (consente il movimento accidentale)	Limite di accesso vietato
	Conduttore mobile esposto	Settore di circuito-fisso esposto		
da 0 a 50	N/D	N/D	N/D	N/D
da 51 a 300	10'-0"	3'-6"	Evitare il contatto	Evitare il contatto
da 301 a 750	10'-0"	3'-6"	1'-0"	0'-1"
da 751 a 15.000	10'-0"	5'-0"	2'-2"	0'-7"

\* in V

**Figura 3-2.** Un limite di protezione dalla scarica è la distanza consigliata alla quale sono necessarie le PPE per la prevenzione delle ustioni nel caso si verifichi una scarica ad arco.

### Alloggiamenti elettrici



molto più sicuri ed efficaci se eseguiti in squadra. La squadra può essere composta da due persone quali il termografo e una persona qualificata che apra gli alloggiamenti, misuri i carichi, e chiuda in tutta sicurezza l'alloggiamento una volta terminato il lavoro. Una *persona qualificata* è qualcuno che possiede la conoscenza e le competenze relative alla costruzione e al funzionamento delle apparecchiature elettriche e che abbia ricevuto una formazione adeguata in materia di sicurezza.

I controlli negli edifici sono in genere meno rischiosi. Tuttavia, i rischi sono comunque presenti quando si accede a soffitte e sotterranei. Particolare attenzione va inoltre prestata quando si è esposti a lavori di costruzione in corso.

I termografi che lavorano in ambienti industriali devono essere sempre a conoscenza di altri rischi, tra cui l'eventualità di inciampare e cadere e i rischi presenti nell'accesso in spazi limitati. In molti ambienti è necessario indossare abiti dai colori chiari. Sui tetti, è necessario adottare le precauzioni contro i rischi di caduta, non solo sull'orlo del tetto ma anche per delle semplici variazioni di altezza o su di un tetto indebolito strutturalmente. I lavori sui tetti devono essere eseguiti sempre in collaborazione e mai da soli.

Inoltre, è necessario osservare delle precauzioni speciali durante le ore notturne. Un termografo può soffrire di cecità notturna quando visualizza un'immagine termica sul display luminoso di una

**Figura 3-3.** Se è necessario aprire degli alloggiamenti elettrici, è essenziale sviluppare, realizzare e seguire delle procedure che riducano al minimo il rischio di scariche ad arco.

Quando si deve accedere all'interno dei quadri, è necessario sviluppare, realizzare e seguire delle procedure che riducano al minimo il rischio di scariche ad arco. La National Fire Protection Agency (NFPA) 70E, è una delle tante normative utili per lo sviluppo di tali procedure.

I controlli elettrici di routine possono risultare

termocamera. La cecità notturna è una condizione che si verifica quando gli occhi del termografo si adattano alla vista di uno schermo con display luminoso e, di conseguenza, non si adattano alla vista di un oggetto scuro.

Gli incidenti si verificano in genere quando il lavoro non è stato programmato, o se la natura del lavoro programmato cambia ma non avviene lo stesso per il programma di lavoro. È essenziale sviluppare e osservare sempre un programma di lavoro sicuro. Se le circostanze cambiano, il programma deve essere rivalutato per apportare le eventuali modifiche.

L'Occupational Safety and Health Administration (OSHA - Agenzia per la sicurezza e la salute sul lavoro) è un'agenzia governativa degli Stati Uniti fondata in seguito alla legge sulla salute e la sicurezza sul lavoro del 1970, che obbliga i datori di lavoro ad offrire un ambiente sicuro ai propri dipendenti. Ad esempio, l'OSHA esige che le aree di lavoro siano prive di rischi che possono causare lesioni gravi. Le disposizioni dell'OSHA vengono rese esecutive dal governo degli USA e all'interno delle sue linee guida è possibile sviluppare programmi di lavoro sicuri.



*Le ispezioni termiche di apparecchiature elettriche ad elevata potenza devono essere eseguite a distanza di sicurezza dall'apparecchiatura.*

## **NORME E PROCEDURE DI CONTROLLO SCRITTE**

Le procedure di controllo scritte sono fondamentali per la produzione di risultati di elevata qualità. Ad esempio, provare a fare una torta senza ricetta è molto più difficile rispetto a quando si dispone di una ricetta. Le procedure scritte di ispezione possono essere considerate come delle “ricette per la buona riuscita”.

Creare queste “ricette per la buona riuscita”, sebbene sia un investimento, non è difficile. In genere, è utile coinvolgere un piccolo gruppo di persone con un'esperienza significativa nei processi ispettivi per poter rappresentare diversi punti di vista, aree di esperienza e responsabilità. Una volta sviluppata una procedura di controllo, è necessario farla testare e rivedere periodicamente da personale certificato per garantire che continui a rappresentare la procedura migliore.

Vi sono molti standard sulle ispezioni che offrono le basi per scrivere delle procedure semplici. Ad esempio, dei comitati di professionisti hanno lavorato sia con l'ISO che con l'ASTM International (American Society of Testing Materials - Società americana per i test sui materiali) per sviluppare molteplici norme di grande importanza. L'*American Society of Testing Materials (ASTM) International* è una società tecnica nonché tra i principali creatori di norme facoltative, informazioni tecniche e servizi per la promozione della salute e sicurezza pubbliche. L'ASTM International contribuisce inoltre all'affidabilità di prodotti, materiali e servizi.

Tali norme aiutano a stabilire le prestazioni delle termocamere. Esse descrivono inoltre le migliori procedure per il controllo dell'isolamento degli edifici, degli spifferi d'aria, degli impianti elettrici e meccanici, dei tetti e dei ponti stradali. Le altre organizzazioni per la standardizzazione nei singoli paesi possono inoltre disporre di ulteriori norme da utilizzare. Ad esempio, molte dispongono di norme sulla sicurezza elettrica che potranno essere applicate direttamente al

lavoro dei termografi incaricati del controllo degli impianti elettrici.

Grazie all'ampia varietà di termocamere e prezzi attualmente disponibili, la tecnologia a infrarossi è diventata di facile accesso. Tuttavia, le organizzazioni che investono nello sviluppo di validi programmi di termografia con procedure di ispezione e personale qualificato, godono

di un vantaggio netto. Esse avranno infatti dei vantaggi a lungo termine che altre organizzazioni potrebbero non avere. **Vedere la figura 3-4.**

### Termocamere



PER MANUTENZIONE GENERICA,  
RICERCA GUASTI E ISPEZIONI DI  
BASE



PER APPLICAZIONI SPECIALIZZATE,  
COMPLESSE O INTENSIVE CHE  
NECESSITANO DI CAPACITÀ DI ANALISI E  
RILEVAMENTO POTENZIATE

**Figura 3-4.** Esistono diverse termocamere disponibili per diversi tipi di applicazioni e controlli.





## APPLICAZIONE DELLA TEORIA

**L**a teoria e la scienza della termodinamica si basano sulle variazioni del trasferimento di calore tra materiali diversi. Le termocamere rilevano le misure secondo i principi fondamentali della termodinamica. I tecnici devono essere in grado di comprendere i limiti della termografia e delle termocamere durante le misurazioni di varie strutture, apparecchiature e materiali.

### TERMODINAMICA DI BASE

La termodinamica è la scienza che studia come l'energia termica (calore) si muove, si trasforma e interessa tutta la materia. Per utilizzare le moderne apparecchiature a infrarossi, è essenziale comprendere i fondamenti della fisica delle radiazioni e del trasferimento di calore. Per quanto potenti siano le moderne apparecchiature, esse tuttavia non possono fare tutto da sole. Il valore delle moderne apparecchiature viene definito dall'abilità del termografo a interpretare i dati, cosa che richiede una comprensione pratica dei principi del trasferimento di calore e della fisica delle radiazioni.

L'energia è la capacità di compiere lavoro. L'energia può assumere varie forme. Ad esempio, una centrale elettrica a carbone converte l'energia chimica del combustibile fossile in energia termica attraverso la combustione. Questa, a sua volta, produce energia meccanica o movimento in una turbina che verrà poi convertita in energia elettrica. Durante queste conversioni, nonostante l'energia sia diventata di più difficile utilizzo, nessuna parte ne andrà persa.

Il primo principio della termodinamica è un principio scientifico che afferma che se il lavoro meccanico viene trasformato in calore, o se il calore viene trasformato in lavoro, le quantità

di lavoro e di calore si equivalgono sempre. Un vantaggio per i termografi è che un sottoprodotto di quasi tutte le conversioni di energia è proprio il calore, o energia termica. L'energia non può essere né creata né distrutta, ma solo modificata.

La temperatura è la misura del calore relativo di un corpo rispetto a un altro. Inconsciamente mettiamo a confronto la nostra temperatura corporea o la temperatura ambiente dell'aria con i punti di ebollizione e congelamento dell'acqua.

Il secondo principio della termodinamica afferma che quando esiste una differenza di temperatura tra due oggetti, l'energia termica si trasferisce dalle aree più calde (maggiore energia) alle aree più fredde (minore energia) fino a raggiungere l'equilibrio termico. Un trasferimento di calore provoca un trasferimento di elettroni oppure una maggiore vibrazione atomica o molecolare. Questo è importante perché tali effetti vengono quantificati nelle misure di temperatura.

### METODI DI TRASFERIMENTO DI CALORE

Il trasferimento di energia termica può avvenire attraverso uno dei tre seguenti metodi: conduzione, convezione e irraggiamento. Ciascun metodo

viene descritto come stato stazionario o transiente. Durante il trasferimento in stato stazionario, la velocità di trasferimento è costante e la direzione non varia nel tempo. Ad esempio, una macchina completamente riscaldata e con carico costante trasferisce il calore nell'ambiente circostante in stato stazionario. In realtà, non esistono flussi di calore in perfetto stato stazionario. Vi sono sempre delle piccole fluttuazioni transienti, ma a fini pratici vengono solitamente ignorate.

*La conduzione* è il trasferimento di energia termica da un oggetto a un altro attraverso il contatto diretto. *La convezione* è il trasferimento di calore che avviene quando le molecole si muovono e/o le correnti circolano tra le zone calde e fredde di aria, gas o fluidi. *La radiazione* è lo spostamento di calore che si verifica quando l'energia radiante (onde elettromagnetiche) si sposta senza un mezzo di trasferimento diretto. Quando una macchina si riscalda o si raffredda, il calore viene trasferito in maniera transiente. Comprendere queste relazioni è molto importante per il termografo, in quanto lo spostamento di calore è spesso strettamente correlato alla temperatura di un oggetto.

### **Concetto di capacità termica**

*La capacità termica* è la capacità di un materiale di assorbire e conservare calore. Quando il calore viene trasferito a velocità variabili e/o in direzioni differenti, si dice che è transiente.

Inoltre, poiché vi sono diversi materiali in transizione, diverse quantità di energia vengono scambiate al variare della relativa temperatura. Ad esempio, per la variazione della temperatura dell'aria in una stanza è sufficiente un'energia minima rispetto alla quantità necessaria a far variare la temperatura di un volume equivalente di acqua in una piscina. La capacità termica descrive la quantità di energia aggiunta o rimossa affinché la temperatura di un materiale vari.

La rapidità a cui avviene il cambiamento dipende anche da come si sposta il calore.

Sebbene la capacità termica, ciò che chiamiamo la relazione tra calore e temperatura, possa indurre in confusione, essa può offrire anche dei vantaggi al termografo. Ad esempio, trovare il livello di liquido in un serbatoio è possibile grazie alla differenza tra la capacità termica dell'aria e del liquido. Quando il serbatoio è in transizione, i due materiali sussistono a temperature diverse.

### **Conduzione**

La conduzione è il trasferimento di energia termica da un oggetto a un altro attraverso il contatto diretto. Il trasferimento di calore per conduzione avviene soprattutto nei solidi, e fino a un certo grado nei liquidi, in quanto le molecole più calde trasferiscono la loro energia direttamente alle molecole adiacenti più fredde. Ad esempio, è possibile sperimentare la conduzione toccando una tazza di caffè calda o una lattina di una bibita fredda.

La velocità a cui avviene il trasferimento di calore dipende dalla conduttività dei materiali e dalla differenza di temperatura ( $\Delta T$  o delta di temperatura) tra gli oggetti. Queste semplici relazioni sono descritte ufficialmente dalla legge di Fourier. Ad esempio, se si prende una tazza di caffè bollente indossando dei guanti, lo scambio di calore sarà minimo rispetto a quanto avverrebbe a mani nude. Una tazza di caffè tiepida non trasferisce la stessa quantità di energia di una bollente, in quanto la differenza di temperatura non è altrettanto elevata. Allo stesso modo, se l'energia viene trasferita alla stessa velocità ma su di un'area più estesa, l'energia trasferita sarà maggiore.

Un *conduttore* è un materiale in grado di trasferire sollecitamente calore. I metalli sono in genere buoni conduttori di calore. Tuttavia, anche la conduttività dei metalli può variare a seconda del tipo di metallo. Ad esempio, il ferro è molto meno conduttivo dell'alluminio. Un *isolante* è un materiale incapace di trasferire calore. I materiali che non sono efficaci conduttori vengono detti isolanti. Spesso si tratta semplicemente di materiali, quali isolamenti in gomma espansa o abiti a strati, che intrappolano piccole sacche di aria rallentando il trasferimento di energia. **Vedere la Figura 4-1.**

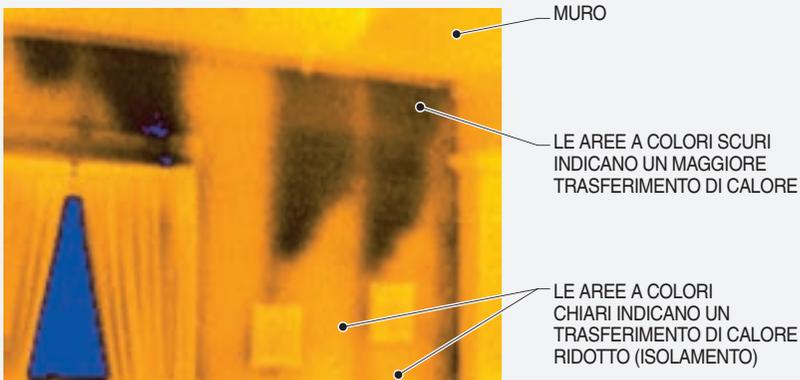
### Convezione

La convezione è il trasferimento di calore che avviene quando le correnti circolano tra le zone calde e fredde dei fluidi. La convezione avviene sia nei liquidi che nei gas, e coinvolge il movimento massiccio delle molecole a temperature differenti. Ad esempio, una nube temporalesca rappresenta una convezione che avviene su larga scala, poiché all'innalzamento di masse di aria calda

corrisponde la precipitazione di aria fredda. Su scala più piccola, la convezione si verifica quando la panna fredda, versata in una tazza di caffè bollente, precipita sul fondo della tazza.

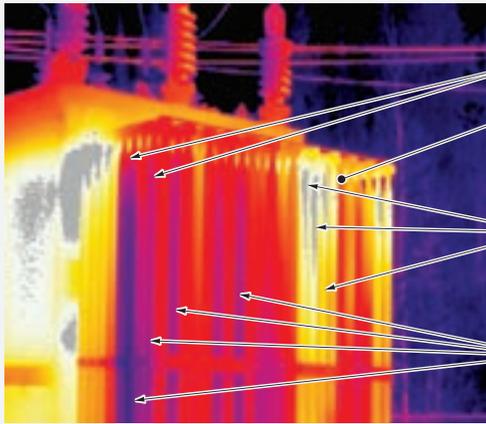
Il trasferimento di calore per convezione viene in parte determinato anche dalla differenza di area e di temperatura. Ad esempio, il radiatore di un motore grande trasferisce più calore rispetto a un motore di piccole dimensioni a causa della sua area più ampia. Vi sono anche altri fattori che influenzano il trasferimento di calore per convezione, come ad esempio la velocità di un fluido, la direzione del flusso del fluido e la condizione superficiale di un oggetto. Il radiatore di un motore ostruito dalla polvere non trasferisce il calore in maniera efficiente come farebbe un radiatore pulito. Come per la conduzione, tutti noi abbiamo un buon senso pratico di queste relazioni, ufficialmente descritte dalla legge del raffreddamento di Newton. La convezione naturale avviene quando i fluidi più caldi si innalzano e i fluidi più freddi precipitano, come avviene nei tubi di raffreddamento dei trasformatori a bagno

### Isolatori



**Figura 4-1.** Gli isolanti vengono installati nei muri per controllare il trasferimento di calore. Gli isolamenti non correttamente posati non sono in grado di controllare in maniera adeguata il trasferimento di calore.

## Convezione naturale



TUBI DI RAFFREDDAMENTO

TRASFORMATORE IN BAGNO D'OLIO (RAFFREDDATO MEDIANTE CONVEZIONE NATURALE QUANDO L'OLIO CALDO CIRCOLA NEI TUBI DI RAFFREDDAMENTO)

LE MAPPE DI UNA NORMALE CIRCOLAZIONE MOSTRANO L'OLIO CALDO (PIÙ CHIARO) IN CIMA E L'OLIO PIÙ FREDDO (PIÙ SCURO) IN FONDO AI TUBI

I TUBI DI COLORE SCURO INDICANO UNA CIRCOLAZIONE DI OLIO MINIMA O ASSENTE

**Figura 4-2.** La convezione naturale avviene quando l'olio caldo si innalza e l'olio freddo precipita, come succede nei tubi dei trasformatori a bagno d'olio.

d'olio. Vedere la figura 4-2.

Quando la convezione è forzata, come con una pompa o una ventola, le relazioni naturali vengono in genere soprafatte in quanto la convezione forzata può essere piuttosto potente. Quando soffia il vento sentiamo più freddo, il che dimostra che perdiamo calore a una velocità maggiore rispetto a quando il vento non soffia. Inoltre, il vento influenza notevolmente la temperatura degli oggetti ispezionati mediante le termocamere.

## Radiazione

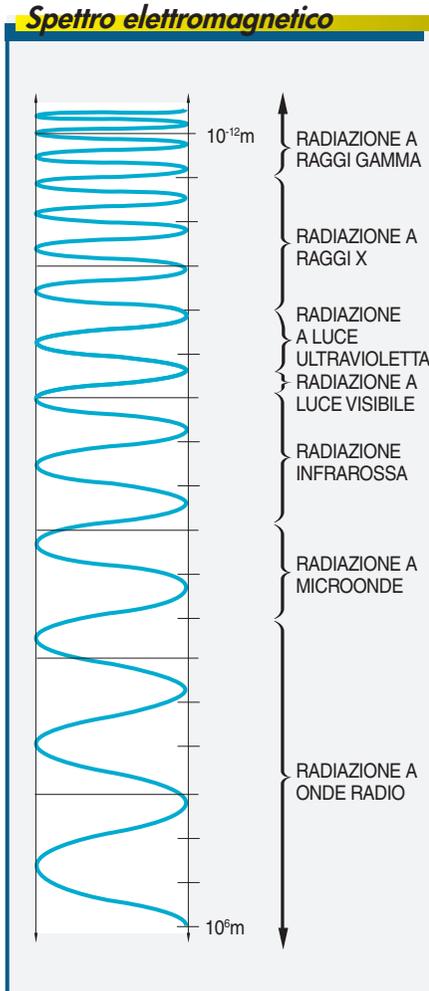
L'irraggiamento è il trasferimento di energia, tra cui il calore, che avviene tra gli oggetti alla velocità della luce mediante energia elettromagnetica. Poiché non è necessario alcun mezzo di trasferimento, l'irraggiamento può avvenire anche nel vuoto. Un esempio di energia elettromagnetica è la percezione del calore solare in una giornata fresca.

*L'energia elettromagnetica* è la radiazione sotto forma di onde con proprietà elettriche. Essa può assumere varie forme tra cui luce, onde radio e radiazione infrarossa. La differenza principale tra tutte queste forme sta nella loro lunghezza d'onda. Mentre la normale capacità visiva rileva lunghezze d'onda note come luce visibile, le termocamere rilevano lunghezze d'onda note come calore irradiato (o radiazione infrarossa). Ogni lunghezza d'onda occupa una porzione diversa dello spettro elettromagnetico.

La legge di Stefan-Boltzmann descrive le relazioni per cui il calore si muove come radiazione. Tutti gli oggetti irradiano calore. Come per la conduzione e la convezione, la quantità netta di energia irradiata dipende dalle differenze di area e temperatura. Più caldo è un oggetto, maggiore sarà l'energia irradiata. Ad esempio, quando un fornello inizia a riscaldarsi, irraderà più energia rispetto a quando è freddo.

*La radiazione termica* è la trasmissione di calore attraverso onde elettromagnetiche.

La differenza principale tra le onde sta nella loro lunghezza d'onda. Sebbene la radiazione elettromagnetica (luce) sia visibile all'occhio umano, il calore irradiato è visibile solo attraverso sistemi di termografia. Lo *spettro elettromagnetico* è la gamma di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica in base alla lunghezza d'onda. **Vedere la figura 4-3.**



**Figura 4-3.** Lo spettro elettromagnetico è la gamma di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica in base alla lunghezza d'onda.

### Concetto di conservazione dell'energia

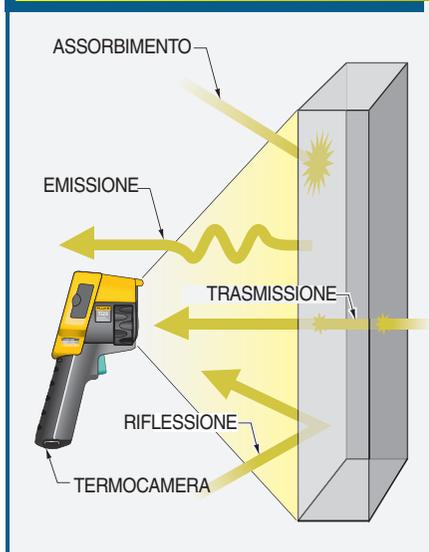
La luce e la radiazione infrarossa si comportano in maniera simile quando interagiscono con vari metalli. La radiazione infrarossa viene riflessa da alcuni tipi di superfici, come ad esempio l'anima di metallo sotto a un fornello. È possibile visualizzare le riflessioni degli oggetti sia caldi che freddi mediante termocamere a infrarossi su determinate superfici, come ad esempio metalli lucidi, chiamate “specchi termici”. In alcuni casi, la radiazione infrarossa viene trasmessa attraverso una superficie, come, ad esempio, la lente di una termocamera. La radiazione infrarossa può essere anche assorbita da una superficie, come ad esempio una mano vicino a un fornello caldo. In questo caso si avrà una variazione di temperatura, e di conseguenza una maggiore emissione di energia da parte della superficie.

*La trasmissione* è il passaggio di energia radiante attraverso un materiale o una struttura. La radiazione infrarossa può essere anche assorbita da una superficie, causando una variazione di temperatura e una maggiore emissione di energia dalla superficie dell'oggetto che assorbe. *L'assorbimento* è la ricezione di energia radiante. *L'emissione* è la liberazione di energia radiante. Sebbene un sistema di termografia a infrarossi sia in grado di rilevare la radiazione riflessa, trasmessa, assorbita ed emessa, solo l'energia assorbita o emessa influisce sulla temperatura della superficie. **Vedere la figura 4-4.**

### SUGGERIMENTO TECNICO

*La ruvidità di una superficie determina il tipo e la direzione della riflessione. Una superficie liscia è considerata un riflettore speculare, mentre una superficie ruvida o modellata è nota come riflettore diffuso.*

### Riflessione, trasmissione, assorbimento ed emissione



**Figura 4-4.** La radiazione può essere riflessa, trasmessa, assorbita o emessa.

Inoltre, la quantità di calore irradiato da una superficie è determinata dall'efficienza con cui la superficie emette l'energia. Gran parte dei materiali non metallici, come superfici dipinte o la cute umana, emettono energia in maniera efficiente. Ciò vuol dire che se le loro temperature aumentano, essi irradiano una gran quantità di energia, proprio come il fornello.

Altri materiali, soprattutto metalli non dipinti o non troppo ossidati, sono meno efficienti nell'irradiare energia. Se la superficie di un metallo nudo viene riscaldata, vi è un aumento del trasferimento di calore radiante relativamente ridotto, ed è difficile individuare la differenza tra la superficie di un metallo freddo e uno caldo, sia a occhio nudo che con una termocamera. I metalli nudi in genere hanno una bassa emissività (bassa efficienza di emissione). L'emissività viene definita mediante un valore compreso tra 0,0 e 1,0. Una superficie con valore 0,10, tipico

del rame lucido, emette un'energia ridotta se paragonata all'emissività della cute umana pari a 0,98.

Una delle sfide dell'utilizzo delle termocamere è che questi strumenti visualizzano un'energia che normalmente non è visibile all'occhio umano. Questo a volte può indurre in confusione. Le superfici a bassa emissività, come i metalli, non solo emettono energia in maniera non efficiente, ma riflettono anche altre sorgenti termiche. Quando un sistema di termografia misura una superficie, esso mostrerà nell'immagine una combinazione di radiazione infrarossa emessa e riflessa. Per dare un senso a quanto visualizzato, il termografo deve capire qual è l'energia emessa e quale quella riflessa.

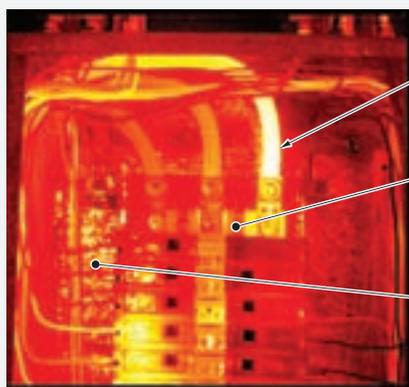
Molti altri fattori sono in grado di influire sull'emissività dei materiali. Oltre al tipo di materiale, l'emissività può anche variare con la condizione della superficie, la temperatura e la lunghezza d'onda. L'effettiva emissività di un oggetto può anche variare con l'angolo di visione.

#### **Vedere la figura 4-5.**

Non è difficile determinare l'emissività di gran parte dei materiali che non sono metalli lucidi. Molti materiali sono già stati valutati e i loro valori di emissività sono riportati nelle tabelle di emissività. I valori di emissività devono essere utilizzati solo in funzione di guida. Poiché l'esatta emissività di un materiale può differire da tali valori, un abile termografo dovrà essere in grado di misurare il valore reale. **Vedere la figura 4-6.**

Cavità, aperture e buchi emettono energia termica più velocemente rispetto alle superfici circostanti. Lo stesso vale per la luce visibile. La pupilla umana è nera perché è una cavità, e la luce che vi penetra viene assorbita. Quando tutta la luce viene assorbita da una superficie si dice che è "nera". L'emissività di una cavità si avvicina al valore di 0,98 quando questa è sette volte più profonda della sua ampiezza.

## Emissività



I CONDUTTORI ISOLATI HANNO UN'EMISSIVITÀ ELEVATA (CALORE EMESSO)

EMISSIVITÀ INFLUENZATA DAL TIPO DI MATERIALE, LE CONDIZIONI DELLA SUPERFICIE, LA TEMPERATURA E LA LUNGHEZZA D'ONDA

IL RETRO DEL PANNELLO HA UNA BASSA EMISSIVITÀ (CALORE RIFLESSO)

**Figura 4-5.** L'emissività può essere influenzata dal tipo di materiale, le condizioni della superficie, la temperatura e la lunghezza d'onda.

### Valori di emissività dei materiali comuni

Materiale	Emissività*
Alluminio lucido	0,05
Mattone comune	0,85
Mattone refrattario ruvido	0,94
Ghisa sgrossatura	0,81
Calcestruzzo	0,54
Rame lucido	0,01
Rame ossidato nero	0,88
Nastro isolante plastica nera	0,95
Vetro	0,92
Lacca bachelite	0,93
Vernice media a base d'olio	0,94
Carta, nera opaca	0,94
Porcellana smaltata	0,92
Gomma	0,93
Acciaio galvanizzato	0,28
Acciaio molto ossidato	0,88
Carta catramata	0,92
Acqua	0,98

**Figura 4-6.** I valori di emissività di molti materiali comuni si possono trovare nelle tabelle sull'emissività.

### Temperatura superficiale

In genere, poiché è possibile vedere solo i modelli di temperatura superficiale di gran parte degli oggetti (in quanto opachi), i termografi devono anche interpretare e analizzare questi modelli e correlarli alle temperature interne e alle strutture degli oggetti. Ad esempio, la parete esterna di una casa mostrerà mappe con varie temperature, ma il compito del termografo è correlarli alla struttura e alle prestazioni termiche della casa. Per fare questo con precisione, è necessario avere una comprensione di base di come il calore viaggia attraverso componenti e materiali diversi nella parete.

Quando il clima è freddo, il calore proveniente dall'interno della casa viaggia attraverso la struttura della parete verso la superficie esterna che raggiungerà quindi l'equilibrio termico con l'ambiente circostante. È a questo punto che il termografo visualizza quella superficie con la termocamera e deve interpretare quanto illustrato. Tali relazioni sono spesso piuttosto complesse, ma in molti casi si comprendono meglio

semplicemente utilizzando il senso comune e facendo attenzione ai principi della scienza.

### ***Emissività***

I metalli non verniciati o non fortemente ossidati risultano difficili da misurare in un'immagine termica poiché emettono poco e riflettono molto. Sia che si stiano semplicemente osservando mappe termiche o che si stia effettuando una misura radiometrica della temperatura, è necessario prendere in considerazione tali fattori. In molte termocamere, è possibile apportare le correzioni relative all'emissività e all'energia riflessa. Le tabelle di correzione dell'emissività sono state sviluppate per molti materiali.

Anche se le tabelle di correzione dell'emissività sono molto utili per capire il comportamento di un materiale, la realtà è che apportare una correzione per gran parte delle superfici a bassa emissività può comportare un margine di errore troppo ampio. Le superfici a bassa emissività devono essere in qualche modo modificate, ad esempio coprendole con del nastro isolante o con della vernice, per aumentarne l'emissività. In questo modo sia l'interpretazione che la misura saranno pratiche e precise.

### ***PRECISIONE DELLA MISURA DELLA TEMPERATURA***

La precisione dei moderni strumenti ad infrarossi è piuttosto elevata. Quando si visualizzano superfici ad elevata emissività e moderatamente calde entro la risoluzione della misura di un sistema, la precisione in genere è di  $\pm 2$  °C o del 2% della misura (ma può variare in base al modello di termocamera). Inoltre, poiché gli strumenti ad infrarossi non necessitano di contatto con gli oggetti da esaminare, questa tecnologia acquista un valore enorme grazie all'elevata precisione della misura.

Poiché le misure della temperatura si basano sul rilevamento della radiazione infrarossa, i seguenti fattori potrebbero influire sulla precisione della misura:

- Valori di emissività inferiori a 0,6
- Variazioni di temperatura di  $\pm 30$  °C
- Misure effettuate al di là della risoluzione del sistema (target troppo piccolo o troppo lontano)
- Campo visivo (FOV)

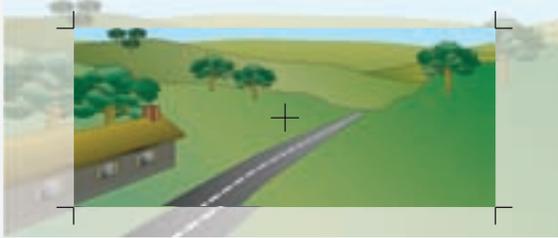
### ***Campo visivo (FOV)***

Un *campo visivo (FOV)* è una caratteristica che definisce la dimensione di quanto visualizzato nell'immagine termica. L'obiettivo influisce al massimo su quello che sarà il FOV, a prescindere dalle dimensioni della matrice. Tuttavia, delle matrici ampie offrono dettagli più particolareggiati rispetto alle matrici più strette, indipendentemente dall'obiettivo utilizzato. Per alcune applicazioni, ad esempio per lavori in sottostazioni all'aperto o all'interno di un edificio, un FOV ampio può essere molto utile. Anche se delle matrici più piccole offrono dettagli a sufficienza in un edificio, maggiori dettagli sono invece importanti nei lavori in sottostazioni. **Vedere la figura 4-7.**

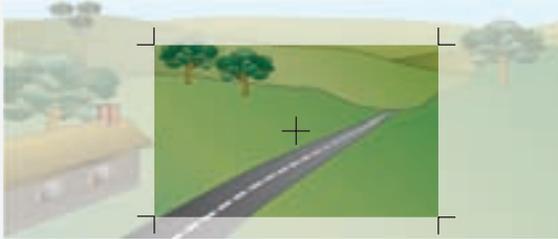
### ***Campo visivo istantaneo (IFOV)***

Un *campo visivo istantaneo (IFOV)* è una caratteristica utilizzata per descrivere la capacità di una termocamera di definire i dettagli spaziali (risoluzione spaziale). L'IFOV è in genere stabilito come un angolo in milliradiani (mRad). Se proiettato dal rilevatore attraverso l'obiettivo, l'IFOV fornisce le dimensioni di un oggetto che è possibile visualizzare a una data distanza.

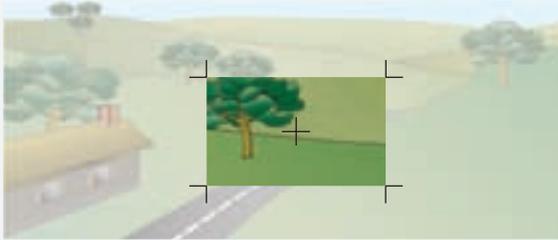
## Campo visivo (FOV)



FOV AMPIO — GRANDANGOLARE



FOV STANDARD — OBIETTIVO STANDARD



FOV RISTRETTO — TELEOBIETTIVO

**Figura 4-7.** Il campo visivo (FOV) è una caratteristica che definisce l'area visualizzata nell'immagine termica tramite l'utilizzo di un obiettivo specifico.

Un'IFOV di misura è la risoluzione di misura di una termocamera che descrive l'oggetto dalle dimensioni più piccole che è possibile misurare a una data distanza. **Vedere la figura 4-8.** Viene specificata come un angolo (in mRad) ma in genere è tre volte più grande rispetto all'IFOV. Ciò è dovuto al fatto che la termocamera necessita di maggiori informazioni per misurare la radiazione di un target che per rilevarla. Comprendere e lavorare nella risoluzione spaziale e di misura specifiche di ciascun dispositivo è fondamentale.

In caso contrario, si potrebbero generare dati imprecisi o trascurare dei risultati.

### **SUGGERIMENTO TECNICO**

*Tutti i target irradiano energia misurabile sullo spettro infrarosso tramite la termocamera. Mentre il target si riscalda, irradia maggiore energia. Target molto caldi irradiano tale energia da poter essere vista dall'occhio umano.*

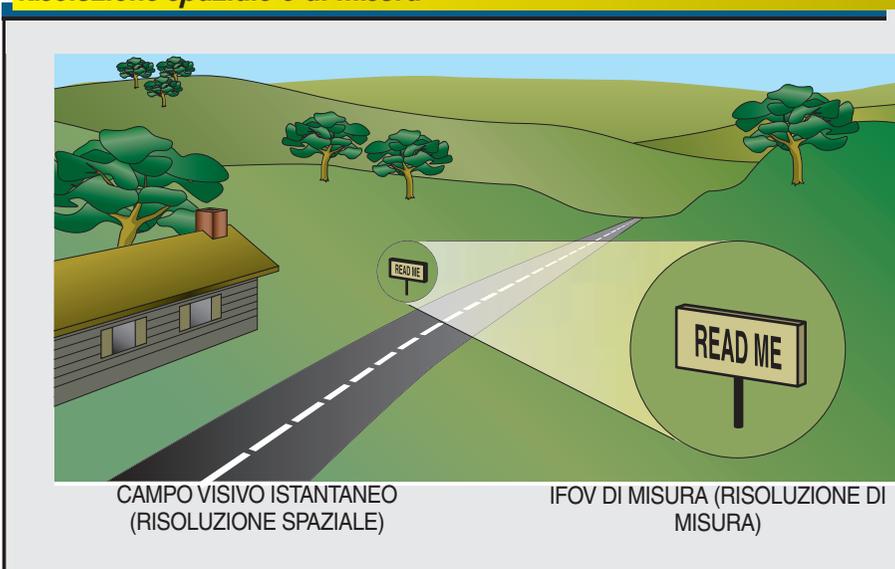
### **Effetti ambientali**

Il valore di una misura di superficie, anche se impreciso, può diminuire significativamente quando il gradiente termico tra la superficie visualizzata e la sorgente di calore interna è elevato; come avviene per esempio in caso di guasti interni ai collegamenti nelle apparecchiature elettriche in bagno d'olio. Il termografo semplicemente non noterà un grande cambiamento sulla superficie in concomitanza delle modifiche ai collegamenti interni. Sorprendentemente, anche oggetti quali collegamenti elettrici imbullonati hanno spesso un gradiente elevato, anche su una distanza fisica ridotta.

È quindi necessario usare molta cautela nell'interpretazione di un'immagine termica per capire quali possono essere le condizioni interne.

Una simile diminuzione del valore si verifica quando le influenze esterne sulla temperatura superficiale sono rilevanti o sconosciute. Questo può accadere ad esempio, quando si osservano le infiltrazioni di umidità in condizioni di vento forte per un tetto ad inclinazione ridotta di un edificio. Le tracce di umidità potrebbero non essere osservate. La mappatura termica caratteristica spesso scompare. Anche le superfici umide possono generare confusione in caso di evaporazione o congelamento.

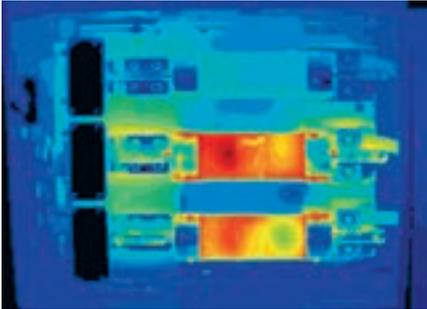
### **Risoluzione spaziale e di misura**



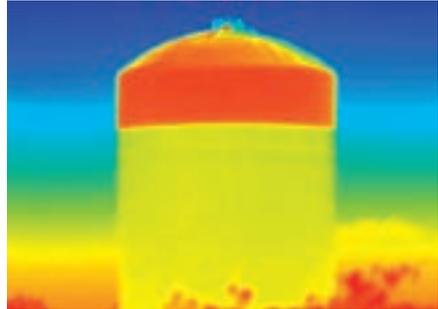
**Figura 4-8.** Un'IFOV di misura è la risoluzione di misura di una termocamera che descrive le dimensioni minime di un oggetto che è possibile misurare a una data distanza. L'IFOV può essere assimilato alla sagoma di un cartello a distanza, mentre l'IFOV di misura può essere simile alla lettura della scritta del cartello sia perché è più vicina o più ampia.



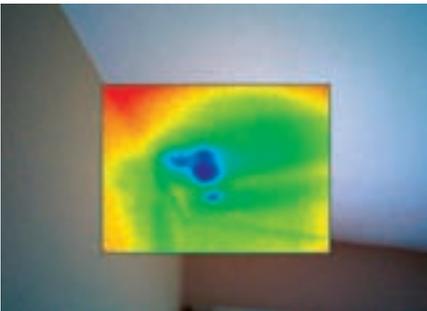
## IMMAGINI TERMICHE A COLORI DELLE APPLICAZIONI



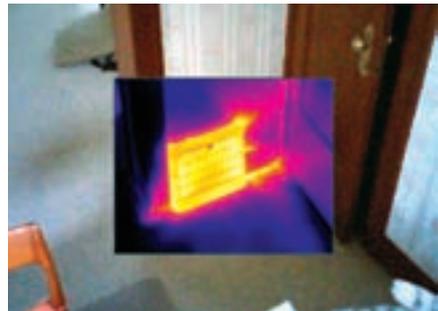
**Figura 5-1.** Il “punto caldo” sull’immagine termica non sempre indica il problema principale. Il fusibile in alto può essere bruciato e anche quello centrale può avere dei problemi.



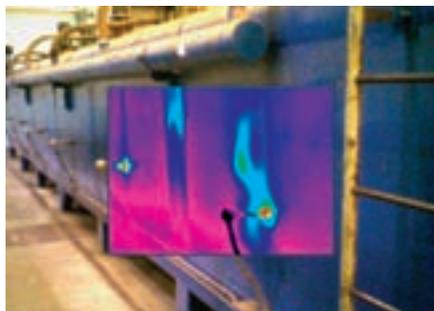
**Figura 5-2.** Nelle condizioni opportune, il livello del liquido presente in un serbatoio è facilmente rilevabile.



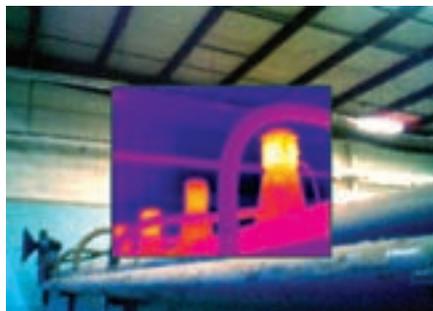
**Figura 5-3.** Un punto blu (o scuro) sull’immagine termica indica un’area con umidità imprevista sul soffitto.



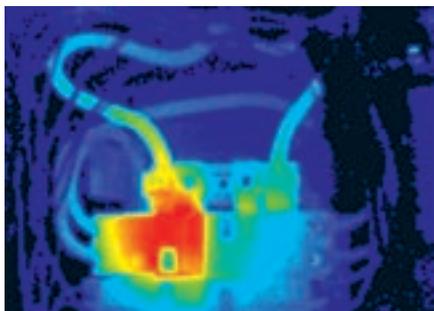
**Figura 5-4.** L’area in giallo nell’immagine all’infrarosso all’interno di quella reale (PIP) indica un’infiltrazione eccessiva di aria dai collegamenti delle tubazioni del sistema di riscaldamento.



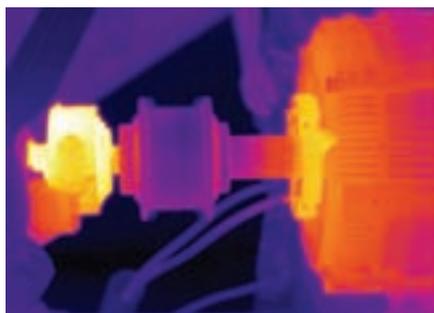
**Figura 5-5.** La presenza di modelli termici imprevisti su un forno di ricottura può essere indice di un possibile deterioramento del refrattario.



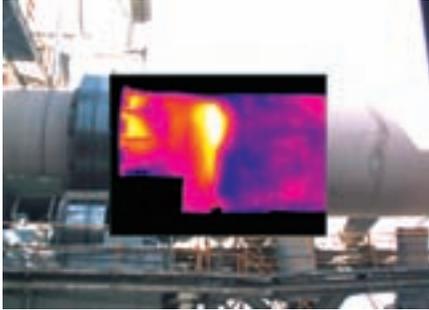
**Figura 5-6.** Il motore della ventola di ricircolo sul lato destro del forno di ricottura, potrebbe avere qualche problema, poiché durante il funzionamento risulta più caldo degli altri.



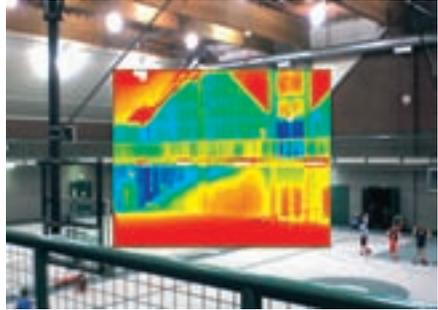
**Figura 5-7.** Il malfunzionamento di un collegamento ad alta resistenza o di un componente in un interruttore è chiaramente visibile nell'immagine termica, ma non nell'immagine reale.



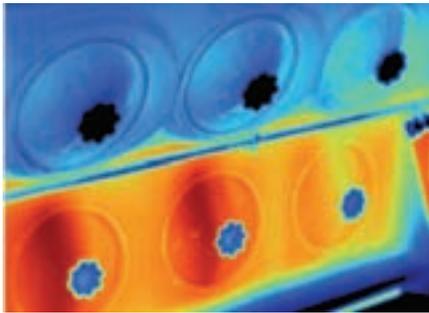
**Figura 5-8.** Mentre l'immagine termica del motore e dell'accoppiamento evidenzia modelli termici su entrambi i lati, indicativi di un problema di allineamento, l'immagine reale non indica alcun problema.



**Figura 5-9.** La termografia può essere utilizzata per monitorare le prestazioni del refrattario nel tempo ed individuare i punti critici in forni per cemento ed in altri tipi di impianti di processo.



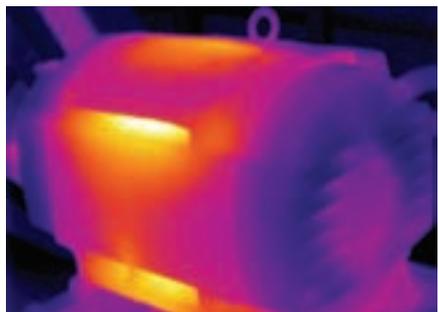
**Figura 5-10.** La termografia può essere utilizzata per visualizzare costruzioni nascosti in edifici esistenti, come la banchina in terracotta all'esterno di questa palestra.



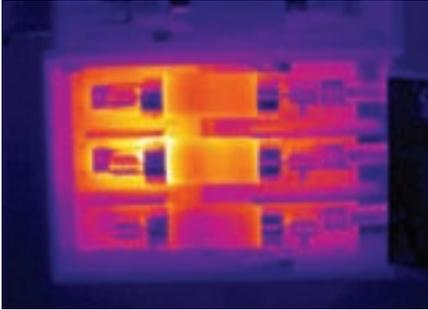
**Figura 5-11.** Un difetto di accensione in un cilindro di un impianto di cogenerazione a motori diesel mostra una mappa termica più fredda e diversa rispetto ai cilindri funzionanti.



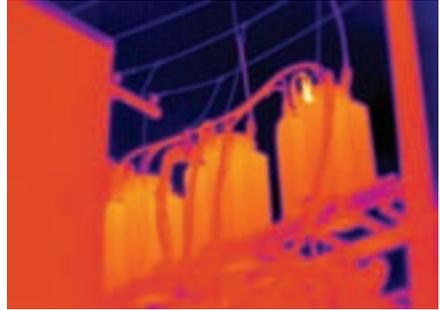
**Figura 5-12.** Le termocamere possono essere utilizzate per fare la scansione di grandi edifici e stabilimenti al fine di individuare variazioni termiche insolite che potrebbero indicare potenziali problemi.



**Figura 5-13.** L'immagine termica di un motore funzionante in un impianto di ventilazione indica dissipazione di calore dalle aperture di raffreddamento.



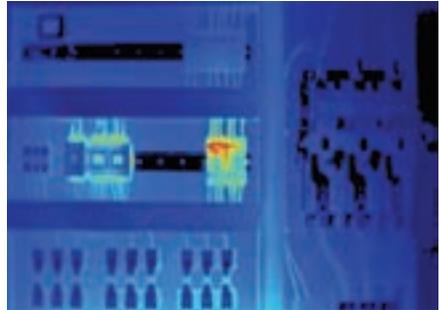
**Figura 5-14.** Il fusibile con un'area di colore bianco indica la presenza di alta resistenza e quindi un possibile problema nella fase centrale.



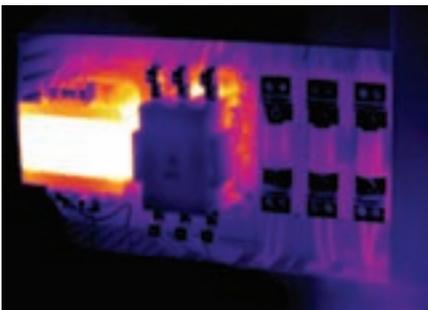
**Figura 5-15.** Il fatto che l'isolatore e la presa del trasformatore in alto siano caldi indica la presenza di un guasto.



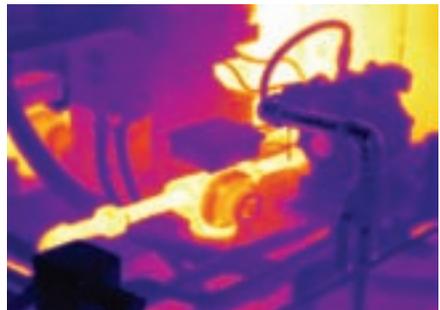
**Figura 5-16.** Un collegamento ad alta resistenza su un ponticello (probabilmente dovuto alla corrosione) può avere conseguenze pericolose qualora si dovesse aumentare ulteriormente il carico.



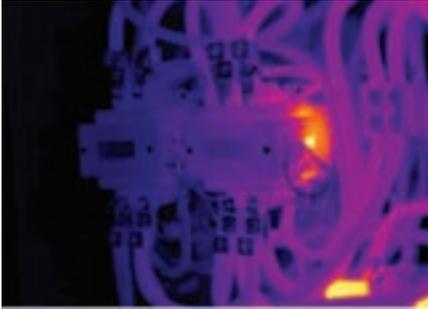
**Figura 5-17.** La termocamera consente di individuare facilmente un problema al componente interno di un quadro di comando dei motori (MCC).



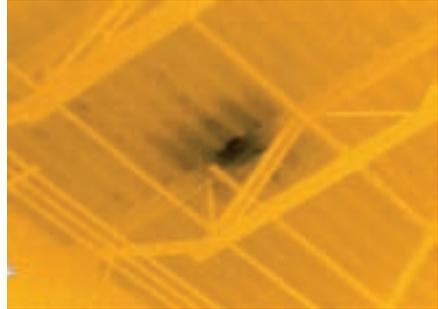
**Figura 5-18.** Un eventuale squilibrio del carico sul fusibile destro può non essere visualizzato, a meno che non si regoli il livello di temperatura e l'inquadratura dell'immagine.



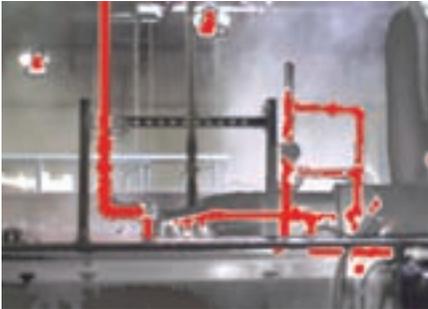
**Figura 5-19.** Con la dovuta conoscenza dell'apparecchiatura meccanica, spesso un tecnico può eseguire numerose attività di ricerca guasti e manutenzione.



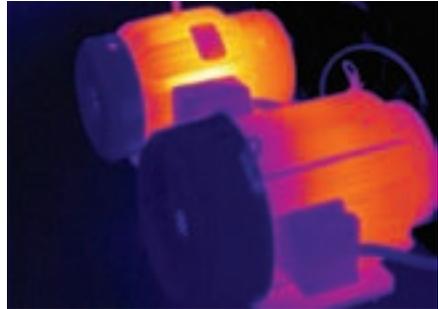
**Figura 5-20.** Un eventuale problema interno è visibile confrontando componenti simili in condizioni di carico simili.



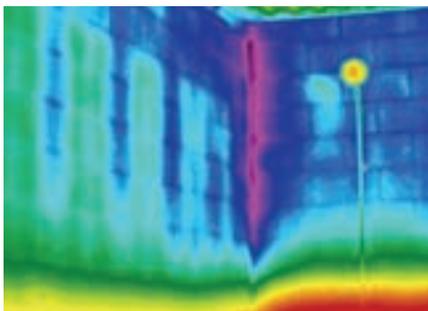
**Figura 5-21.** Le termocamere possono essere utilizzate per rilevare infiltrazioni associate a perdite di acqua su tetti. Se le condizioni sono adatte e il tetto di metallo è verniciato, è possibile localizzare tali aree dall'interno.



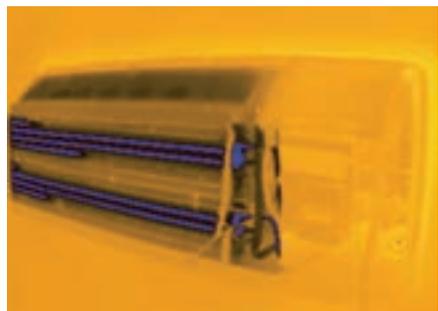
**Figura 5-22.** L'utilizzo di colori di saturazione e di allarmi a colori su una scala di grigi, può essere utile per individuare le valvole dell'acqua calda e quelle di regolazione del vapore aperte e correttamente funzionanti.



**Figura 5-23.** Nonostante due motori e gruppi pompa differenti indichino modelli termici diversi, entrambi possono indicare un funzionamento soddisfacente.



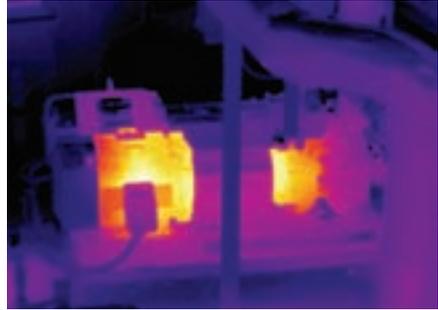
**Figura 5-24.** I modelli termici in costruzioni con muri a blocchi indicano infiltrazioni di umidità nel punto di collegamento tra blocchi diversi, oltre ad impreviste irregolarità nella struttura.



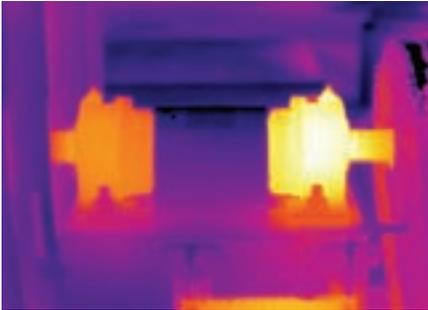
**Figura 5-25.** Le aree scure indicano il liquido di raffreddamento che attraversa le bobine di un condizionatore a finestra.



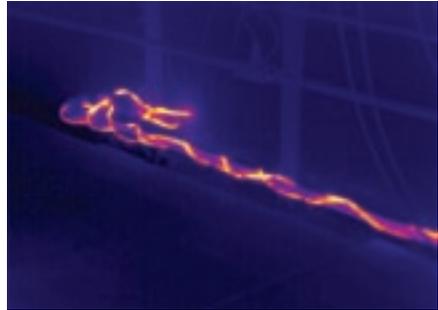
**Figura 5-26.** Nell'immagine di un'autocisterna metallica si notano chiaramente gli effetti dei materiali a bassa emissività sulla termografia. Il metallo riflette sia la bassa temperatura del cielo sia il calore emanato dal terreno in un giorno assolato.



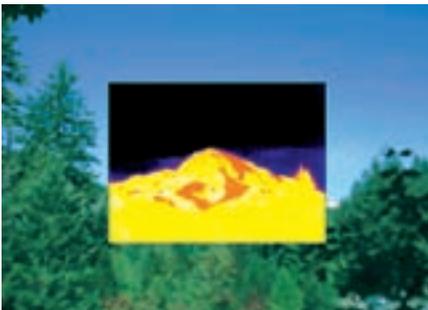
**Figura 5-27.** La termografia può essere utilizzata per verificare che un'apparecchiatura non presenti anomalie di funzionamento. L'immagine termica del gruppo motore + pompa posto nel retro indica che vi è un blocco improvviso.



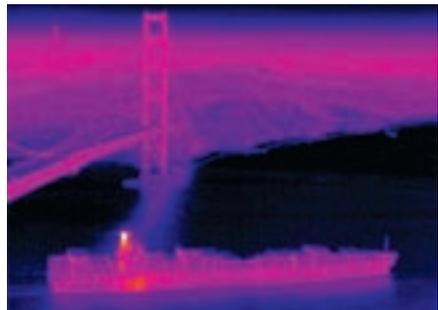
**Figura 5-28.** Nell'unità di trattamento dell'aria illustrata nell'immagine, il coperchio del cuscinetto destro è molto più caldo di quello sinistro; ciò indica possibili problemi di lubrificazione, allineamento o difettosità della cinghia.



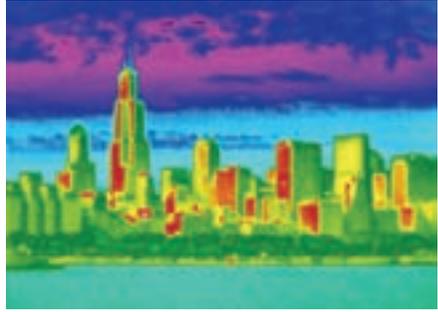
**Figura 5-29.** La termografia può essere utilizzata anche per le applicazioni come la ricerca guasti in una resistenza per il riscaldamento di una conduttura idraulica esterna che non può congelare con il freddo.



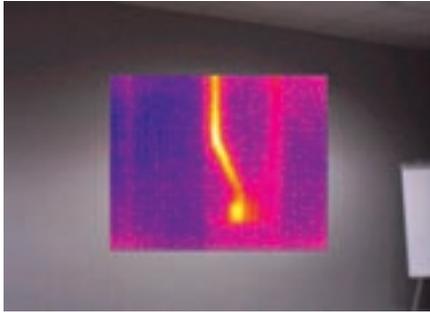
**Figura 5-30.** Qualsiasi oggetto presente sulla terra, ad esempio un ghiacciaio sulle vette, emette energia a raggi infrarossi.



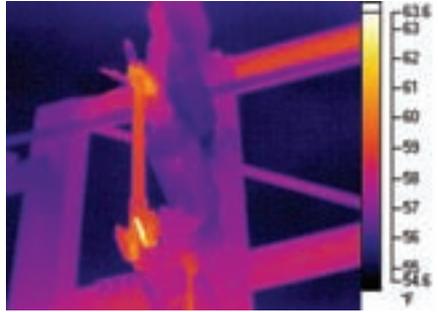
**Figura 5-31.** Un'immagine termica notturna di una nave portacontainer, mostra che il tubo di scarico e la sala macchine possono essere individuati anche da lontano.



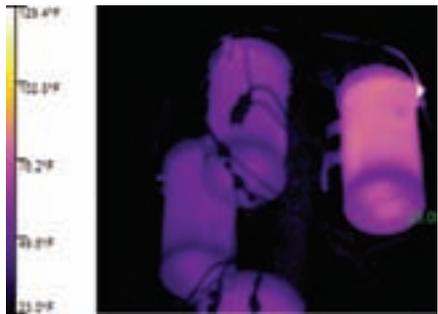
**Figura 5-32.** Nella foto reale, è difficile vedere chiaramente i dettagli dell'orizzonte, o il cielo, in un giorno nebbioso di estate inoltrata. Tuttavia, grazie alla termografia è possibile individuare facilmente i dettagli, così come i diversi tipi di nuvole nel cielo.



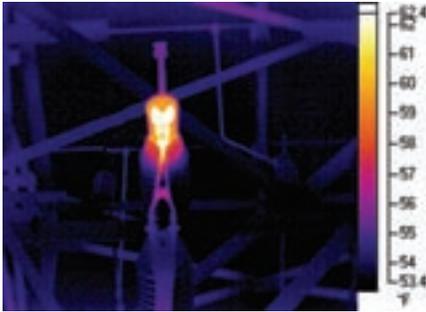
**Figura 5-33.** Persino temperature superficiali minime possono indicare gravi problemi come una linea di terra condivisa o una messa a terra del neutro errata in un impianto di illuminazione. Ciò può causare il riscaldamento del condotto metallico all'interno della parete fino al punto in cui si crea un pericolo di incendio.



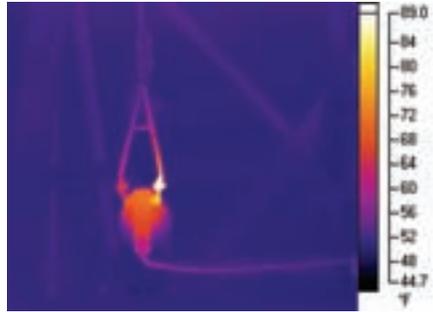
**Figura 5-34.** L'individuazione dei problemi, nei punti di contatto delle componenti mobili di un sezionatore di alta tensione, può risultare semplice in condizioni di carico adeguato e vento lieve o assente.



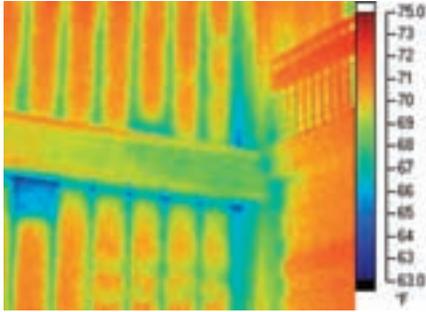
**Figura 5-35.** Utilizzando una termocamera, alcuni problemi possono essere rilevati anche a grande distanza (immagine a sinistra). Spesso un'analisi più dettagliata richiede l'utilizzo di un teleobiettivo o semplicemente un avvicinamento all'apparecchiatura (immagine a destra).



**Figura 5-36.** Il riscaldamento anomalo di componenti ad alta resistenza in un interruttore spesso rappresenta un problema serio e costoso perché possono verificarsi dei danni anche a temperature relativamente basse.



**Figura 5-37.** Poiché il flusso di corrente in molti sezionatori ha un percorso parallelo, il “punto caldo” potrebbe indicare un collegamento normale mentre il lato più freddo la connessione difettosa.



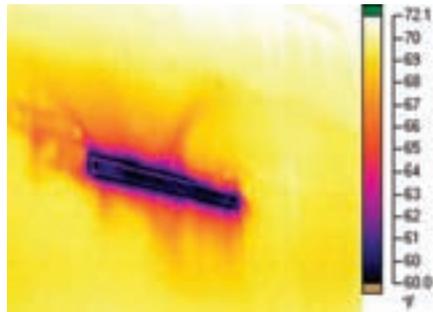
**Figura 5-38.** In una costruzione, una piccola parte dell'isolamento in fibra di vetro mancante può causare una perdita anomala di aria lungo i bordi di altre aree.



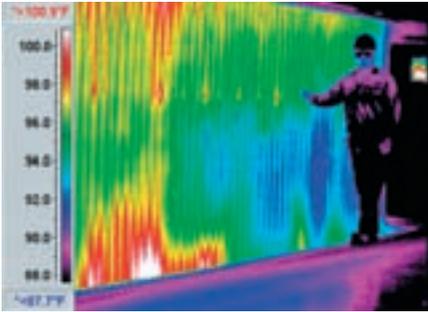
**Figura 5-39.** A causa di carenze nell'isolamento, l'aria calda riesce a bypassare l'isolamento in fibra di vetro in molte parti di questo edificio commerciale.



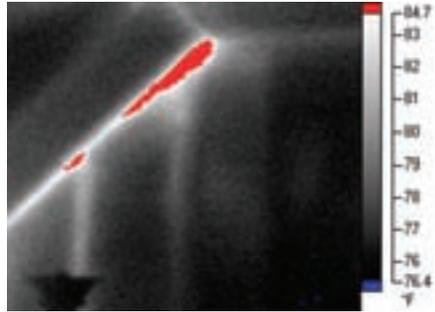
**Figura 5-40.** Un trasformatore che durante il funzionamento sembra più caldo rispetto agli altri presenti sullo stesso telaio può indicare un possibile problema.



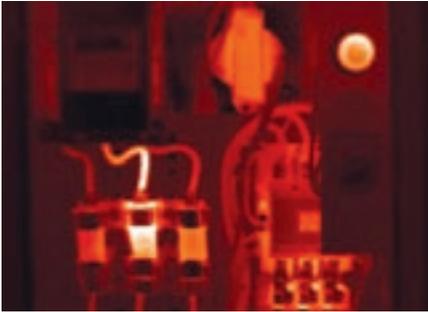
**Figura 5-41.** L'aria condizionata può fuoriuscire dalle giunzioni delle tubazioni del sistema HVAC e raggiungere la parete dietro al diffusore.



**Figura 5-42.** Le aree calde individuate sulla superficie di una caldaia possono essere dovute al deterioramento di un refrattario, ad una perdita di aria, o a una combinazione di entrambi.



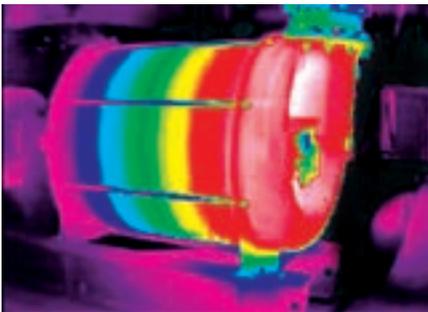
**Figura 5-43.** Un "colore di saturazione" rosso mostra chiaramente il montaggio inadeguato dell'isolamento in fibra di vetro in un soffitto inclinato.



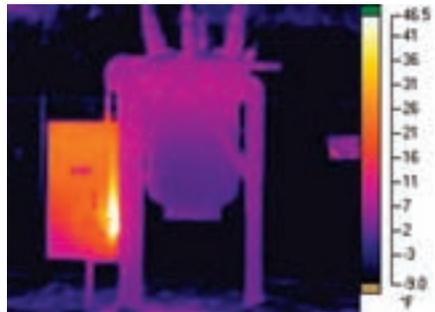
**Figura 5-44.** In un quadro di controllo dei motori (MCC), vi è un'anomalia nel collegamento al morsetto del fusibile in quanto risulta surriscaldato.



**Figura 5-45.** È possibile controllare in modo rapido la temperatura del corpo motore per verificarne il corretto funzionamento.



**Figura 5-46.** Questo compressore multistadio funziona correttamente poichè la temperatura aumenta regolarmente ad ogni stadio. *G. McIntosh*



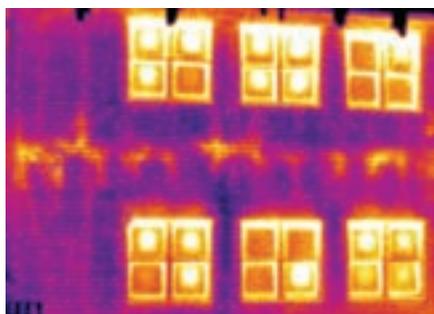
**Figura 5-47.** La termografia può essere utilizzata per verificare che un riscaldatore all'interno di un quadro di comando funzioni normalmente e ridurre al minimo i problemi causati dalla condensa.



**Figura 5-48.** L'immagine termica dell'esterno di un edificio mostra chiaramente le aree problematiche come le parti più chiare in cui vi è assenza di isolamento.



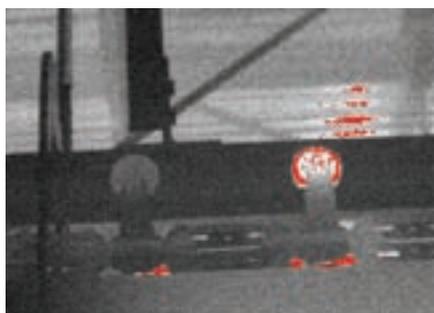
**Figura 5-49.** Durante il periodo invernale osservando l'esterno di un edificio, le aree in cui vi è assenza di isolamento vengono visualizzate come punti caldi.



**Figura 5-50.** I punti caldi al centro delle finestre a doppio vetro possono indicare una perdita di argon isolante che normalmente riempie lo spazio tra i vetri.



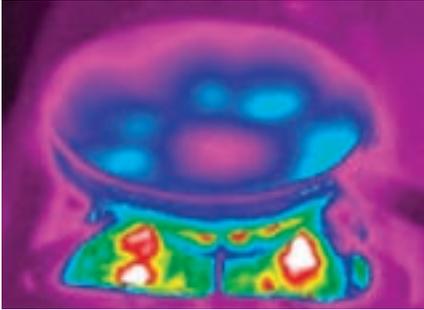
**Figura 5-51.** La termografia può essere utilizzata per verificare la presenza di problemi, come isolamento mancante o danneggiato.



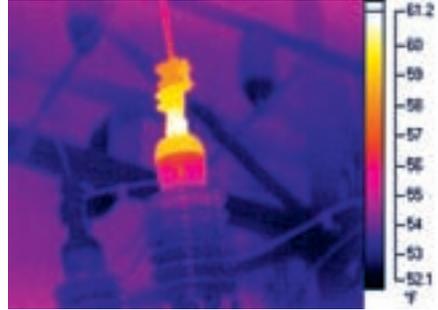
**Figura 5-52.** Un riscaldamento anomalo del cuscinetto di un carrello può portare a un consumo eccessivo di corrente e causare, nel tempo, la rottura della catena.



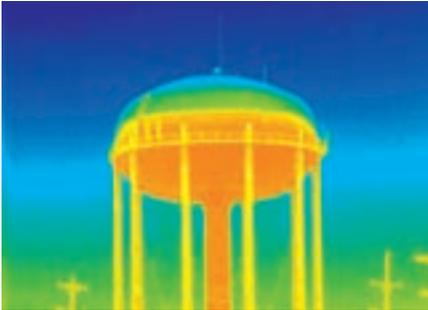
**Figura 5-53.** Nelle prime ore del mattino quando le condizioni sono ottimali per scattare immagini termiche, un'area del tetto con infiltrazioni di acqua viene mostrata come un punto caldo.



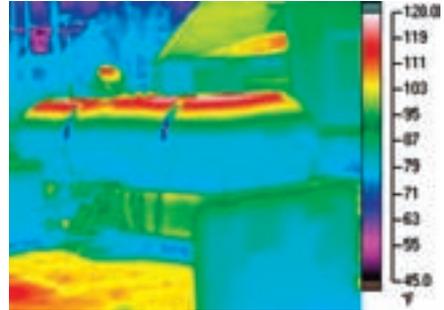
**Figura 5-54.** Quando viene riscaldata, una pentola in ghisa mostra una caratteristica mappatura termica.



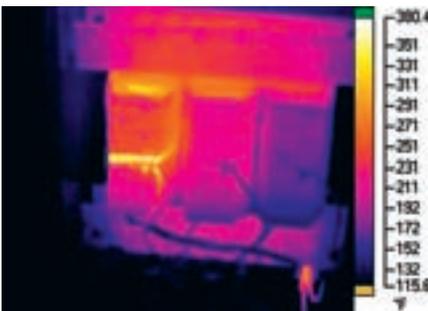
**Figura 5-55.** L'area di colore chiaro in un interruttore riempito di olio indica che il collegamento interno dal coperchio alla boccia della bronzina è insolitamente caldo.



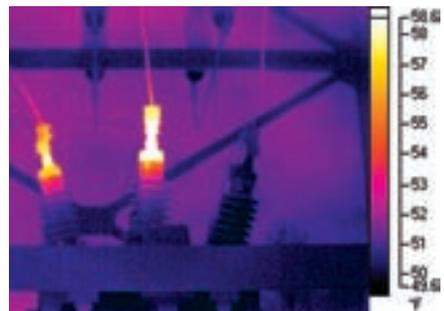
**Figura 5-56.** L'area di colore chiaro indica il livello di acqua in un serbatoio di acquedotto comunale.



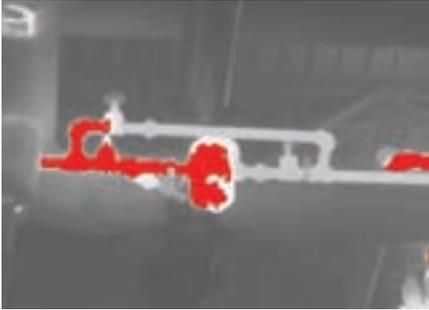
**Figura 5-57.** Tramite una termocamera, si può vedere facilmente il livello di gas propano liquido in un serbatoio di stoccaggio.



**Figura 5-58.** La mappatura termica di un trasformatore a secco trifase indica che l'avvolgimento del primario sulla fase sinistra è insolitamente caldo.



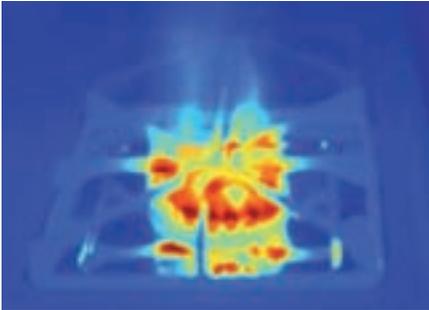
**Figura 5-59.** Due dei sei coperchi della boccia in un interruttore riempito di olio sono insolitamente caldi. Se ciò non fosse stato notato e non si fosse provveduto alla riparazione dei coperchi, ci sarebbero state gravi conseguenze.



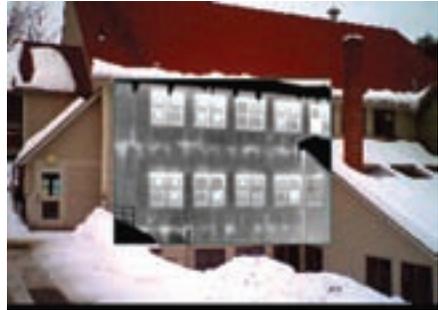
**Figura 5-60.** Uno scaricatore di condensa per vapore correttamente funzionante dovrebbe essere più caldo sul lato vapore e più freddo sul lato condensa come indicato in questa immagine.



**Figura 5-61.** In condizioni ottimali, grazie alla termocamera è possibile vedere facilmente i livelli di liquido presente in un serbatoio di stoccaggio.



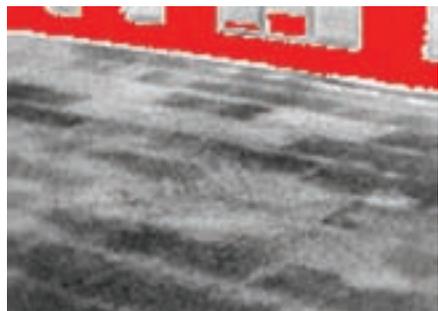
**Figura 5-62.** Anche se i fornelli sembrano caldi, in un'immagine termica a onda lunga la fiamma è appena visibile.



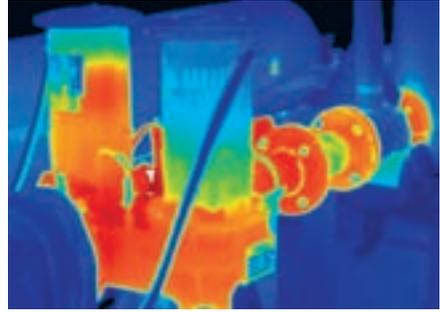
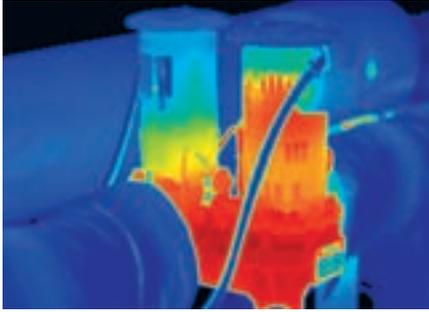
**Figura 5-63.** I numerosi punti caldi che compaiono sulla parte esterna della facciata principale di un edificio commerciale sono dovuti ad una inadeguata installazione dell'isolamento in fibra di vetro.



**Figura 5-64.** Oltre alle infiltrazioni di acqua, i numerosi oggetti presenti su un tetto, come la copertura della presa d'aria di un sistema di ventilazione e riscaldamento, possono essere evidenziati come aree più calde.



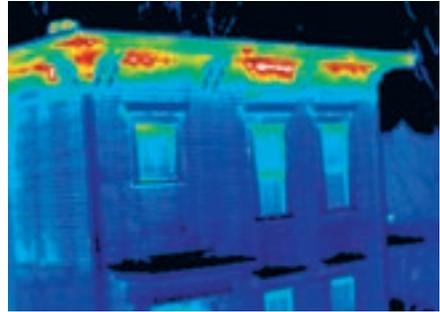
**Figura 5-65.** Le mappature termiche su tetti a falda singola isolati con schiuma sono meno visibili di quelle presenti sui tetti composti.



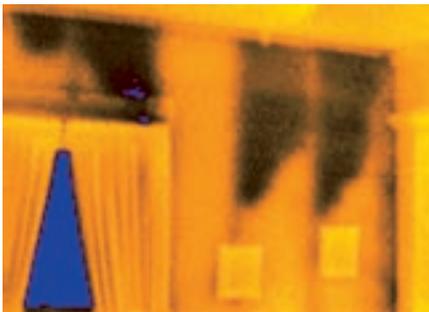
**Figura 5-66.** Con una mappa termica è possibile verificare il funzionamento di una singola fase in una pompa a due fasi.



**Figura 5-67.** Nella mappa termica, lo sfregamento sul nastro di un carrello trasportatore sospeso crea un punto caldo. Il nastro si è disallineato a causa di un cuscinetto a rulli usurato. Di conseguenza, il maggiore attrito ha contribuito al surriscaldamento del motore.



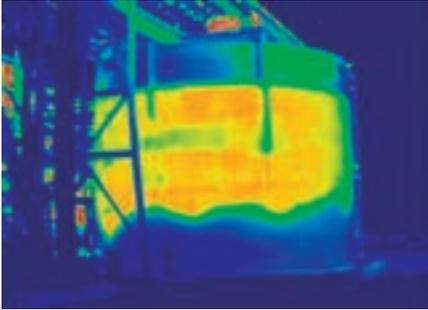
**Figura 5-68.** Una perdita eccessiva di calore può essere causata dalla fuoriuscita di aria calda dall'isolamento ovviamente ciò comporta maggiori costi sia per l'incremento dei consumi energetici, sia per la necessità di migliorare l'isolamento termico esistente.



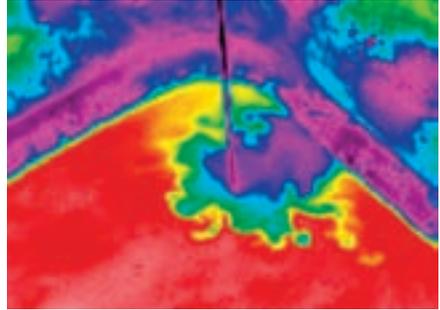
**Figura 5-69.** Il materiale isolante installato in modo inadeguato in una cavità della parete può migliorare la situazione ma non isolare come dovrebbe.



**Figura 5-70.** Il naso umano spesso è più freddo delle altre parti del corpo a causa del minor afflusso di sangue e del maggior raffreddamento convettivo.



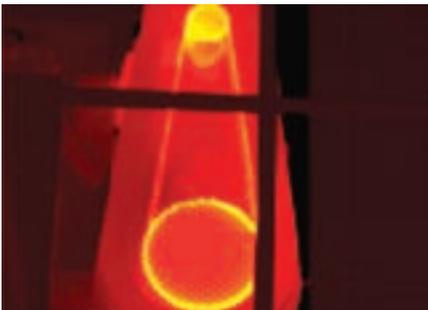
**Figura 5-71.** In un serbatoio, se è in atto una transizione termica spesso i livelli di liquido e di sedimenti ben visibili.



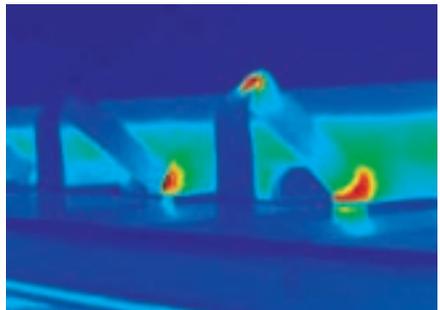
**Figura 5-72.** L'acqua fredda che scorre in un lavandino pieno di acqua calda provoca un trasferimento convettivo di calore.



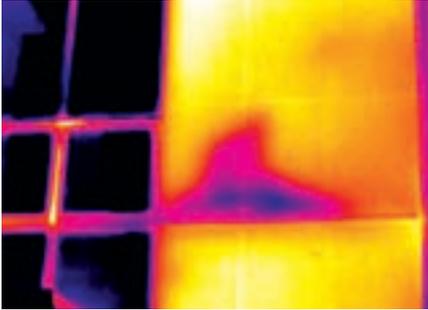
**Figura 5-73.** La cupola dorata di un edificio governativo riflette il freddo del cielo.



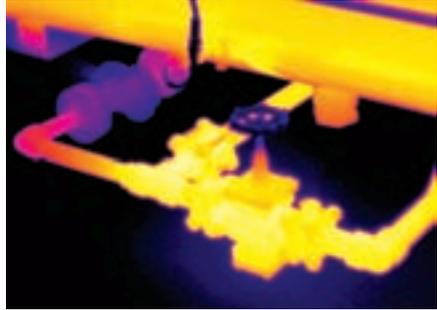
**Figura 5-74.** Le zone più chiare evidenziate sull'immagine termica di nastri e pulegge forse indicano un loro disallineamento.



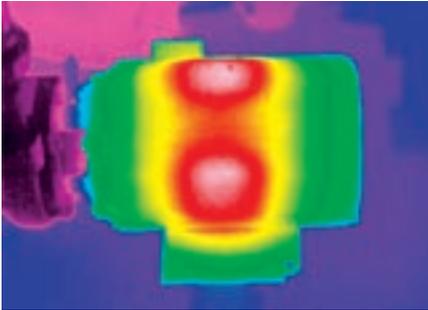
**Figura 5-75.** Le aree in rosso nell'immagine indicano vari cuscinetti a rulli del trasportatore surriscaldati in maniera anomala.



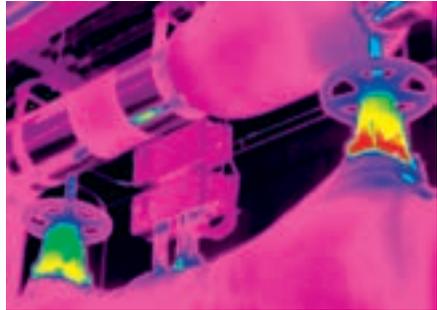
**Figura 5-76.** L'umidità riesce a penetrare nella facciata in pietra di una struttura commerciale, rendendola vulnerabile ai danni.



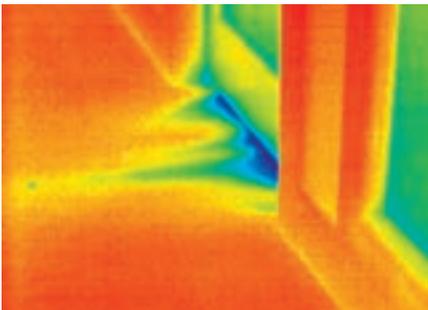
**Figura 5-77.** Questa immagine termica mostra una valvola idraulica aperta funzionante in modo normale.



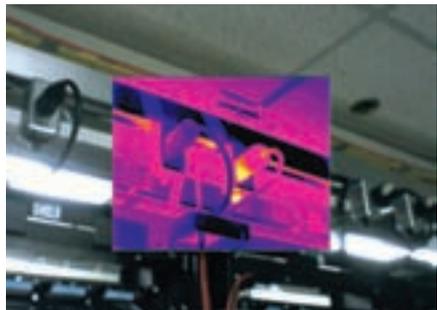
**Figura 5-78.** Il modello termico del motore di una pompa funzionante presenta una mappa termica uniforme.



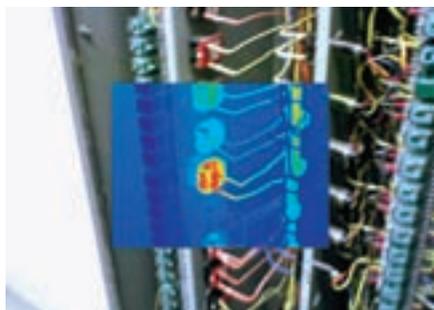
**Figura 5-79.** Le aree più colorate indicano i punti in cui il calore fuoriesce dalle tubature non isolate vicino alle valvole di un sistema a vapore.



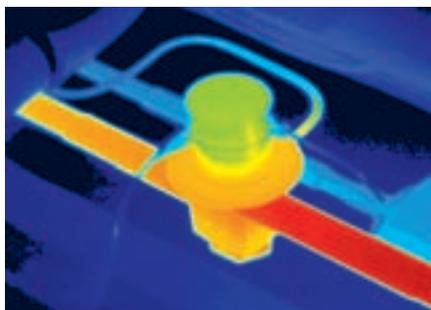
**Figura 5-80.** L'aria fredda che fuoriesce dalla parte inferiore di una porta d'ingresso lascia sul pavimento dell'uscio un segno sottile azzurro a forma di dito.



**Figura 5-81.** Il connettore elettrico a destra alimenta una fila di server e mostra un modello termico che segnala o un problema di alta resistenza nel collegamento oppure un problema al cablaggio interno.



**Figura 5-82.** L'area con colori caldi indica un possibile collegamento ad alta resistenza oppure il guasto di un componente nel quadro di comando delle luci.



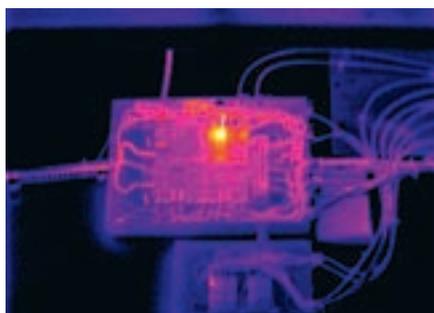
**Figura 5-83.** Il colore diverso sui due lati del condensatore in linea e della valvola di by-pass indica un funzionamento corretto.



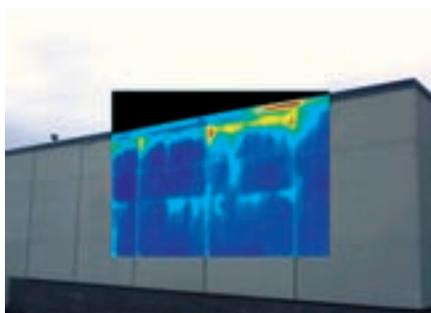
**Figura 5-84.** Questa immagine termica segnala un possibile guasto interno del trasformatore destro.



**Figura 5-85.** L'immagine termica di un compressore di un sistema di ventilazione e condizionamento riesce a mostrare un'ampia differenza di temperatura tra le varie parti e dei relativi componenti.



**Figura 5-86.** La termografia può essere utile per individuare il calore di collegamenti ad alta resistenza nei sistemi di controllo a bassa tensione.



**Figura 5-87.** L'umidità proveniente da un tetto sprovvisto di adeguati sistemi di drenaggio può penetrare nei blocchi di cemento e nella facciata di un edificio.



## APPLICAZIONI DELLA TERMOGRAFIA

**L**a termografia può essere utilizzata per eseguire ispezioni di attrezzature elettriche, di processo come strumento diagnostico per l'edilizia. Le attrezzature elettriche comprendono motori, impianti di distribuzione e sottostazioni. Le attrezzature di processo comprendono attrezzature automatizzate di produzione e macchinari assemblati. La diagnostica per l'edilizia prevede controlli atti a verificare l'eventuale presenza di umidità sui tetti, ispezioni di controllo dell'isolamento degli edifici per il rilevamento di eventuali ponti termici o infiltrazioni di umidità. L'isolamento prevede il posizionamento di materiali appositi su pareti, soffitti e pavimenti dell'edificio.

### APPLICAZIONI ELETTRICHE

Le termocamere sono utilizzate più comunemente per verificare l'integrità degli impianti elettrici poiché le procedure diagnostiche sono senza contatto e possono essere eseguite velocemente. La maggior parte della termografia in campo elettrico è qualitativa, in quanto si confrontano le mappature termiche di componenti simili. Una mappatura termica è una rappresentazione istantanea, in un preciso momento, del calore emesso da un oggetto. Negli impianti elettrici trifase questa procedura è molto semplice perché in condizioni normali le fasi quasi sempre manifestano mappature termiche simili.

La termografia è particolarmente efficace perché i guasti nelle apparecchiature sono tipicamente evidenziati da mappature termiche chiare e riconoscibili. Inoltre, le eccezioni termiche appaiono dove l'ispezione visibile ne accenni già la presenza. Una *eccezione termica* è una condizione anomala o sospetta in cui può trovarsi un'apparecchiatura. Nonostante le eccezioni termiche non siano sempre rilevabili, o non sia possibile capire la causa principale, il calore prodotto da una resistenza elettrica elevata di solito precede i guasti elettrici.

Quando una o più fasi o componenti hanno una temperatura diversa a causa di problemi non correlati al normale equilibrio del carico, può essere presente una eccezione termica. Ad esempio, una resistenza elevata comporta il surriscaldamento su un punto di connessione difettoso. Tuttavia, in presenza di guasti, e senza passaggio di corrente, i componenti possono apparire più freddi.

Un quadro elettrico aperto può esporre il tecnico a vari rischi. Generalmente, le scosse elettriche non rappresentano un problema poiché la termografia non richiede alcun contatto fisico. Tuttavia, la possibilità che si verifichi un'esplosione dell'arco è alta, soprattutto a partire da 400 V.

Prendo un'anta, ad esempio, se la struttura è difettosa o se sono presenti corpi estranei, come insetti, polvere o detriti e, se questi vengono mossi si può innescare una scarica ad arco. Ciò può provocare un arco fase-terra. Una volta generatosi, un arco può raggiungere temperature superiori a 16.000°C in meno di mezzo secondo. L'apertura di quadri contenenti apparecchiature elettriche alimentate è consentita soltanto a personale autorizzato e qualificato.

I tecnici di termografia devono fare di tutto per ridurre il rischio di esplosione degli archi conoscendo a fondo le cause. Gli enti governativi internazionali possono indicare i requisiti necessari per ridurre i rischi di scariche ad arco. Tali requisiti prevedono l'illustrazione dei rischi, delle procedure di esecuzione delle ispezioni e la descrizione dei dispositivi di protezione individuale (DPI) necessari. I DPI sono progettati per mitigare i possibili danni causati dall'intenso calore generato da una scarica ad arco e, di solito, prevedono protezioni per occhi, testa, corpo (tuta ignifuga) e mani. **Vedere la figura 6-1.**

Le tecniche d'ispezione degli impianti elettrici sono basate su buon senso, tecnologia e procedure corrette di manutenzione. Quando possibile, i componenti e i macchinari dovrebbero essere alimentati ed esaminati direttamente con una termocamera.

Di tanto in tanto, le ispezioni devono essere eseguite anche in maniera indiretta, ad esempio su una cassetta delle connessioni elettriche del motore o una blindosbarra aerea incassata. Mentre in alcune condizioni, come nel caso di una blindosbarra aerea scoperta, questa potrebbe essere un'alternativa necessaria, nella procedura normale non è raccomandabile. Se un quadro non può essere aperto, i dati risultanti da una ispezione termica, da soli, non riescono a fornire tutti i dettagli necessari.

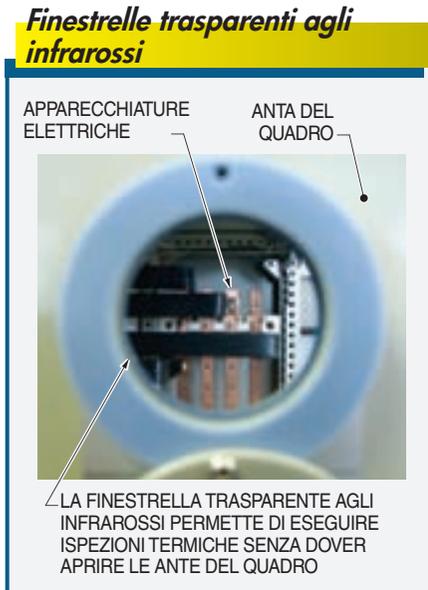
L'accesso ad alcune apparecchiature può risultare talmente difficile e/o pericoloso da richiedere procedure d'ispezione differenti. Altri metodi d'ispezione possono prevedere l'utilizzo di una finestrella trasparente agli infrarossi che consenta di vedere all'interno di un quadro. Talvolta, vengono utilizzate anche altre tecnologie, come gli ultrasuoni a propagazione aerea.

### ***Dispositivi di protezione individuale (DPI)***



**Figura 6-1.** Di solito, i DPI includono protezioni per occhi, testa, corpo e mani progettati per mitigare i possibili danni causati dall'intenso calore e dagli alti rischi di una scarica ad arco.

È necessario posizionare con cautela la finestrella trasparente agli infrarossi in modo da garantire la visione di tutti i componenti e i dispositivi. Una *finestrella trasparente a infrarossi* è un dispositivo installato nei quadri elettrici che serve a trasmettere l'energia a raggi infrarossi da visualizzare tramite una termocamera. Spesso, tramite questi accorgimenti, è possibile applicare la termografia senza che sia necessario aprire le ante o i pannelli dei quadri. **Vedere la figura 6-2.**



**Figura 6-2.** Una finestrella trasparente agli infrarossi viene utilizzata per trasmettere energia a raggi infrarossi a una termocamera senza dover aprire le ante o i pannelli del quadro.

È anche possibile utilizzare apparecchiature in grado di rilevare ultrasuoni a propagazione aerea. *Gli ultrasuoni a propagazione aerea* sono suoni prodotti da collegamenti elettrici difettosi. Non sono percepibili all'udito ma possono essere rilevati tramite dispositivi di ascolto speciali. Persino la produzione di micro archi in

un collegamento di solito crea una mappatura di ultrasuoni rilevabili tramite una feritoia o un piccolo foro nel quadro.

Durante un'ispezione, particolare attenzione viene posta sui collegamenti elettrici o sui punti di contatto elettrico. I collegamenti elettrici e i punti di contatto sono sensibili al calore generato da una elevata resistenza e sono la fonte principale dei guasti nei sistemi.

È possibile rilevare anche gli squilibri di corrente elettrica tra le fasi. Spesso questi sono considerati normali, ad esempio in un impianto di illuminazione. Tuttavia, possono provocare guasti costosi in altre parti dell'impianto elettrico come in un motore elettrico che ha perso una fase o in un circuito sovraccaricato.

Benché nelle applicazioni elettriche l'utilizzo di termocamere sia ricorrente, spesso queste vengono adoperate in modo inefficace ed errato. I guasti imminenti possono essere trascurati o, se localizzati, fraintesi dal tecnico. Molti fattori, oltre alla gravità del problema, possono influenzare la temperatura superficiale misurata tramite la termocamera. Inoltre, il rapporto tra calore e difetto, nel corso del tempo, non sempre risulta chiaro.

È noto che la temperatura di un collegamento elettrico varia col variare del carico. Possiamo prevedere a quanto ammonterà la produzione di calore da parte di un collegamento ad alta resistenza ( $I^2R$ ), mentre sarà meno prevedibile il livello di temperatura che questo potrà raggiungere. Per questa ragione, secondo alcuni standard è consigliabile eseguire le ispezioni con un minimo di carico pari al 40% o meglio con il carico nominale massimo, quando possibile. Particolare attenzione dovrebbe essere dedicata osservando le irregolarità rilevate sulle apparecchiature a basso carico, dove è possibile che il carico aumenti in futuro.

Se le protezioni non possono essere aperte facilmente e i componenti soggetti a riscaldamento, come una blindosbarra aerea

incassata, non possono essere esaminati direttamente il gradiente termico tra il problema e la superficie esaminata generalmente sarà molto ampio. Un *gradiente termico* è la differenza esistente tra la temperatura effettiva alla fonte del problema e la temperatura rilevata o misurata sulla superficie esaminata con una termocamera. Una mappatura termica della superficie di soli 2,8°C su una blindosbarra incassata può indicare un problema interno. I dispositivi ad olio, come i trasformatori, hanno gradienti termici simili o superiori.



*Per ridurre il riverbero del sole sul display, sono disponibili apposite visiere parasole rimovibili da utilizzare con le termocamere.*

Occorre prestare attenzione quando si eseguono ispezioni all'esterno e la velocità del vento supera i 3m/s. Si dovrebbe considerare, ad esempio, come verrebbero visualizzati i punti caldi sull'apparecchiatura in assenza di vento. Alcune irregolarità possono indicare valori al di sotto della soglia critica finché la velocità del vento non diminuisce. Influenze simili possono verificarsi all'interno degli impianti dove i quadri vengono lasciati aperti per un po' prima di eseguire un'ispezione. Le procedure corrette richiedono che l'ispezione sia condotta nel modo più rapido e sicuro possibile dopo l'apertura della copertura.

Spesso anche vedere un'immagine su un display all'apertura può essere impegnativo. Le condizioni di luminosità possono produrre un abbagliamento indesiderato, riducendo la possibilità di vedere effettivamente ogni dettaglio e sfumatura dell'immagine. Le ispezioni delle apparecchiature esterne non necessariamente devono essere eseguite di notte; la luce del sole, tuttavia, può produrre immagini falsate dal calore solare. Questo vale soprattutto per i componenti scuri come gli isolatori in ceramica delle linee elettriche.

L'acquisizione di dati termici attendibili su un impianto elettrico non sempre è facile come sembra. Pur disponendo di dati termici validi, molti tecnici li utilizzano in modo errato quando si classifica la gravità dei risultati dei test. Ad esempio, la temperatura spesso non è un indicatore attendibile della gravità del guasto poiché molti fattori possono causare una sua variazione. Questo fatto non impedisce ai tecnici di credere, erroneamente, che più il componente guasto è caldo più il problema è grave rispetto agli altri componenti più freddi.

Allo stesso modo, si può pensare erroneamente che un problema non esiste quando un componente o un pezzo di apparecchiatura non è particolarmente caldo. La raccolta e l'interpretazione di dati termici necessari affinché si traggano tutti i vantaggi dalla termografia richiedono particolare cura.

Piuttosto che determinare le priorità considerando esclusivamente la temperatura, un approccio più utile consiste nel considerare il modo in cui tutti i parametri interagiscono col componente sospetto e come influiscono su di esso. Ciò può essere eseguito semplicemente con gli strumenti di misura o tramite l'analisi dell'origine dei problemi utilizzando strumenti di analisi tecnica. I vantaggi delle ispezioni termiche su impianti elettrici sono numerosi e le aziende che ne godono sono in grado di eliminare di fatto i tempi di inattività non previsti provocati da guasti elettrici.

## APPLICAZIONI ELETTROMECCANICHE E MECCANICHE

Le ispezioni elettromeccaniche e meccaniche riguardano una quantità notevole di apparecchiature. La termografia si è rivelata preziosa per l'ispezione di apparecchiature come motori, apparecchiature con parti rotanti e scaricatori di condensa. La maggior parte di queste applicazioni è qualitativa. Un'immagine termica di solito viene confrontata con una acquisita in precedenza. Vengono notate le differenze risultanti dal cambiamento dello stato dell'apparecchiatura. Per capire il funzionamento di un'apparecchiatura e i suoi guasti, l'esperto di termografia deve conoscere a fondo il processo di trasferimento del calore.

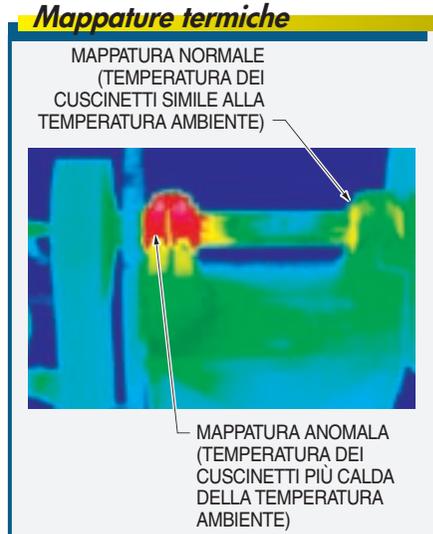
I motori vengono esaminati da un punto di vista termico in quanto soggetti a guasti provocati dal calore. Generalmente, il disallineamento o lo sbilanciamento del motore, ad esempio, provoca un surriscaldamento. Sebbene sia utile osservare la temperatura superficiale dell'alloggiamento del motore, le variazioni delle temperature interne di un motore non sempre sono subito evidenti. Può essere utile scattare immagini termiche del motore nel corso del tempo o confrontarle con quelle di motori simili in funzione. Ad esempio, questa procedura può aiutare a rilevare un motore surriscaldato con la griglia della ventola intasata di polvere o con alimentazione non equilibrata.

La mappatura termica dei cuscinetti di un motore può essere utilizzata anche per le ispezioni. Se i cuscinetti risultano molto più caldi del motore, ad esempio, significa che vi è un possibile problema da esaminare con maggiore dettaglio. Allo stesso modo, gli accoppiamenti dei motori e i cuscinetti dell'albero normalmente funzionanti dovrebbero esibire mappature termiche molto vicine alla temperatura ambiente.

**Vedere la figura 6-3.** È utile ricorrere, oltre che alla termografia, anche ad altri tipi di test, come

all'analisi delle vibrazioni e all'analisi del circuito interno del motore.

La termografia si è rivelata particolarmente preziosa per l'ispezione di apparecchiature con parti rotanti a bassa velocità, come i nastri trasportatori, dove gli altri metodi di ispezione si sono rivelati inutili e inattendibili. Tipi più



**Figura 6-3.** La mappatura termica degli accoppiamenti del motore e dei cuscinetti dell'albero in condizioni di funzionamento normale deve essere molto simile alla temperatura ambiente.

complessi di apparecchiature, come turbine, accoppiamenti e scambiatori di calore, possono essere esaminati con una termocamera. Tuttavia, queste spesso richiedono un investimento maggiore nella creazione di dati di test prima che i risultati delle ispezioni successive forniscano una risposta.

## APPLICAZIONI DI PROCESSO

Le ispezioni termiche vengono comunemente utilizzate per monitorare componenti in grado di sopportare temperature elevate, come ad esempio i refrattari. Gli addetti alla manutenzione riescono a utilizzare i dati termici per convalidare lo stato dell'isolamento o calcolare le temperature superficiali che potrebbero causare un guasto.

Un'ispezione di riferimento è un'ispezione volta a stabilire una condizione normale di esercizio di un'apparecchiatura. Un'ispezione di monitoraggio dell'andamento termico è un'ispezione eseguita in seguito a un'ispezione di riferimento che serve a fornire immagini utili per il confronto. Il monitoraggio, nel tempo, spesso fornisce informazioni diagnostiche e predittive. In questo modo, i termografi possono confrontare eventuali differenze o somiglianze indicative delle prestazioni dell'apparecchiatura.

Le ispezioni di riferimento dovrebbero essere eseguite per prime, seguite dalle ispezioni di monitoraggio in corso. Queste ispezioni devono essere programmate con una frequenza definita in base allo stato dell'apparecchiatura e alla sua criticità. Come conseguenza del monitoraggio degli andamenti, migliorano le capacità di manutenzione proattiva e si riducono i tempi di inattività non previsti e costosi guasti.

Tutti i tipi di isolamento termico possono essere esaminati osservando le variazioni della mappatura termica superficiale. Questi tipi di isolamento prevedono gli stessi materiali utilizzati sulle condotte di vapore, sulle linee di produzione, sugli impianti ad aria compressa e sulle tubazioni di calore delle linee di processo (sia a vapore che elettriche). Purtroppo, molti tipi di refrattari sono spesso ricoperti di metallo non verniciato che può rendere la termografia meno affidabile. A causa della bassa emissività e dell'elevata riflettanza, le mappature termiche non sono subito evidenti su un rivestimento in metallo non verniciato

La termografia viene utilizzata più comunemente per localizzare o confermare i livelli di solidi, liquidi o gas in contenitori come serbatoi di stoccaggio e cisterne. **Vedere la figura 6-4.** Nonostante la maggior parte dei contenitori di solito siano dotati di strumentazioni indicanti il livello di materiale in essi contenuto, i dati spesso non sono precisi perché la strumentazione non funziona correttamente o in altri casi, sono precisi ma vanno verificati.

La velocità con cui la temperatura di questi materiali cambia durante un ciclo di un flusso transiente di calore è determinata dal modo in cui il calore viene trasferito nonché dalle differenti capacità termiche dei solidi, liquidi

## SUGGERIMENTO TECNICO

*In condizioni di funzionamento corretto, la temperatura degli scaricatori di condensa e delle valvole chiuse avrà una differenza netta tra i due collettori. Esistono, naturalmente, numerosi tipi di scaricatori di condensa e valvole, ciascuno con leggere differenze di mappature termiche. Pertanto, è importante osservarli con attenzione nel corso del tempo e capirne il funzionamento.*

e gas presenti nel serbatoio. La temperatura dei gas varia rapidamente. Nel giro di pochi minuti, ad esempio, il sole provoca una significativa variazione termica di una porzione di un grande serbatoio esterno contenente gas. Se soggetti ad una variazione di temperatura, i solidi, i liquidi e i materiali galleggianti variano il loro stato termico con differenti velocità. Persino in un serbatoio in ambiente interno si verificano fluttuazioni termiche che riescono a evidenziare lo stato dei livelli.

Un tecnico esperto riesce spesso a individuare i livelli in un serbatoio privo di isolamento. Qualora il serbatoio fosse isolato, le mappature termiche impiegherebbero più tempo a manifestarsi o potrebbero essere necessari alcuni accorgimenti.

### **Livelli dei liquidi nelle cisterne**



**Figura 6-4.** La termografia viene utilizzata più comunemente per localizzare o confermare i livelli di materiale contenuto in contenitori come serbatoi di stoccaggio e cisterne.

I livelli dei materiali presenti in un contenitore possono essere rilevati utilizzando semplici tecniche attive consistenti nell'applicare calore o indurre il raffreddamento tramite l'evaporazione. Soltanto spruzzando semplicemente dell'acqua su un serbatoio e aspettando qualche minuto finché la temperatura della superficie esterna del serbatoio cambia, ad esempio, spesso è possibile rilevare livelli interni. L'applicazione di una striscia di vernice verticale o di nastro adesivo nel punto in cui la lettura dei livelli è più facile può modificare la bassa emissività dei rivestimenti isolanti in metallo lucido.

### **STRUMENTI DIAGNOSTICI PER L'EDILIZIA**

La termografia è stata a lungo impiegata per varie applicazioni relative alla diagnosi di edifici commerciali e residenziali. Le applicazioni di diagnostica degli edifici prevedono ispezioni atte a rilevare l'eventuale presenza di condensa, punti termici, infiltrazioni di umidità e di aria. Come per le altre applicazioni della termografia, conoscere il processo di trasferimento del calore e il tipo di struttura degli edifici è essenziale. Le ispezioni degli edifici commerciali possono essere più complicate di quelle delle strutture residenziali.

## ***Ispezioni per il rilevamento di umidità sui tetti***

Per vari motivi relativi alla progettazione, all'installazione e alla manutenzione nella maggior parte dei tetti calpestabili si verificano problemi entro un anno o due di vita. Un *tetto calpestabile* è una copertura liscia con una leggera inclinazione per lo scolo dell'acqua piovana. È formato da una struttura su cui sono posizionati alcuni tipi di materiali isolanti e membrane impermeabili.

Sebbene il danno causato da una perdita possa essere notevole, generalmente il danno nascosto a lungo termine, causato dall'umidità intrappolata, comporta spese maggiori. Una volta depositatasi nel tetto, l'umidità resta intrappolata e causa il deterioramento e la rottura prematura della struttura. Individuando e sostituendo gli isolamenti difettosi, l'umidità può essere eliminata e la durata del tetto viene prolungata ben oltre quanto atteso.

Ispezionando i tetti con una termocamera non si crea alcun problema. **Vedere la figura 6-5.** L'isolante inumidito ha una capacità termica maggiore rispetto all'isolante asciutto. Ad esempio, dopo una giornata calda e assolata e senza vento, la sera il tetto si raffredda velocemente dove asciutto. Il raffreddamento rapido di un tetto rende visibile l'umidità perché più calda rispetto all'isolamento asciutto.

Una volta visualizzate queste mappe termiche, aree estese del tetto possono essere esaminate abbastanza velocemente, notando eventuali infiltrazioni di umidità. Se necessario, la presenza effettiva di umidità può essere confermata con metodi di ispezione più tradizionali, nonostante questi siano spesso lenti o distruttivi. Se le condizioni lo permettono, durante la notte la "finestra d'ispezione" può rimanere aperta a lungo.

La mappatura termica che localizza il difetto e il tempo durante il quale essa può essere

visualizzata tramite una termocamera dipendono dalle condizioni e dal tipo di isolamento del tetto. I materiali assorbenti solitamente utilizzati per l'isolamento dei tetti, come quelli in fibra di vetro, in fibra legnosa e in perlite espansa generano mappature termiche evidenti. Gli isolamenti non assorbenti come i pannelli in schiuma, spesso utilizzati in tetti a strato singolo, sono più difficili da ispezionare. Questo perché viene assorbita una piccola quantità d'acqua. Molti tetti a strato singolo vengono appesantiti anche con uno strato pesante in pietra che può creare una mappatura con differenze termiche minime.

Oltre che dall'umidità del sottostrato, le mappature termiche sono influenzate anche da molti fattori. Per fare in modo che l'evaporazione non riduca l'effetto di riscaldamento solare, la superficie del tetto deve essere asciutta. La presenza di nuvole fitte di sera può ridurre il raffreddamento, mentre un vento eccessivo può cancellare o livellare tutte le mappature termiche.

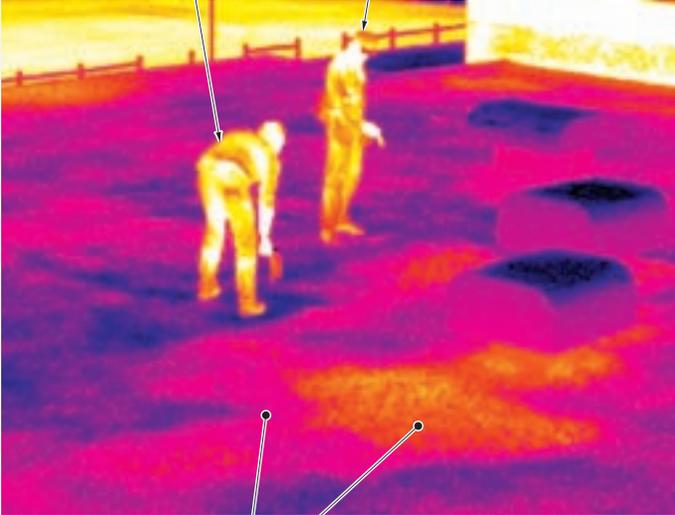
Anche il tipo di struttura e le condizioni fisiche del tetto formano dei contrasti nelle mappature termiche. Durante la notte, ad esempio, un parapetto rivolto verso ovest può diffondere nuovamente il calore verso il tetto. La ghiaia del manto di copertura aggiuntivo rimarrà più calda e le parti già riparate del tetto possono sembrare diverse dalle altre. Capire tali influenze e le conseguenze che hanno sulle mappature termiche è di fondamentale importanza se si vogliono eseguire ispezioni valide.

Dopo la posa, i tetti vengono esaminati brevemente per definire una mappatura termica di riferimento. Un'altra ispezione è prevista dopo ogni eventuale danno provocato da una grandinata, o un forte temporale. Quando si verificano deterioramenti inevitabili, una rapida ispezione a infrarossi può essere utile a determinare la loro precisa ubicazione e a quantificare il volume dei difetti di isolamento.

## Ispezioni per il rilevamento di umidità

TECNICO CHE SEGNA IL  
TETTO CON LA PITTURA

TECNICO CON UNA TERMOCAMERA



LE MAPPE RILEVATE TRAMITE LA  
TERMOCAMERA POSSONO ESSERE  
UTILIZZATE PER VERIFICARE L'EVENTUALE  
PRESENZA DI UMIDITÀ

**Figura 6-5.** Le ispezioni per il rilevamento di umidità sui tetti sono non distruttive e vengono eseguite facilmente con una termocamera.

Per eseguire un'ispezione del tetto in sicurezza occorre prestare molta attenzione. I lavori sui tetti non devono mai essere eseguiti da soli. I termografi sono particolarmente esposti a rischi perché la luminosità del display non consente agli occhi di adattarsi ai livelli di scarsa visibilità presenti sulla maggior parte dei tetti nelle ore notturne. Questa mancanza è chiamata cecità notturna. Un'ispezione visiva diurna preliminare del tetto è essenziale se si vogliono evidenziare i potenziali rischi oltre a esaminare le condizioni del tetto.

### Ispezione dell'isolamento degli edifici

La termografia è la tecnica ideale per verificare la presenza e le prestazioni dell'isolamento. Ricorrono frequentemente a essa i consulenti tecnici, gli appaltatori e gli ispettori edili. In un edificio, l'isolamento è utilizzato principalmente per rallentare il trasferimento di calore tra interno ed esterno. Se l'isolamento manca, è danneggiato o non funziona come dovrebbe, aumenta sia il consumo di energia sia il prezzo

del condizionamento, mentre i livelli di comfort nell'edificio, generalmente, diminuiscono.

Sebbene ridurre il consumo eccessivo di energia sia importante, un'ispezione termica programmata può aumentare il comfort dell'occupante e consentire un minor uso di energia. Gli altri problemi spesso individuabili tramite le ispezioni termiche includono perdite d'acqua, formazioni di condensa, formazione di ghiaccio sul tetto e congelamento delle tubazioni idrauliche. La termografia, inoltre, serve a controllare il ricircolo di aria in luoghi climatizzati e a verificare la disposizione dell'isolamento acustico.

Se la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno di un edificio è di almeno 10°C, generalmente è possibile rilevare problemi di isolamento. Durante il periodo di riscaldamento, ad esempio, la mappatura termica dell'isolamento mancante sarà più fredda all'interno e più calda all'esterno. Durante il periodo di raffreddamento, capita il contrario. È utile sapere il tipo di isolante installato in un edificio poiché per ognuno vi è una mappatura termica e una costante di tempo specifiche.

Per la maggior parte delle ispezioni termiche occorre operare sia all'interno sia all'esterno dell'edificio. Tuttavia, vento forte e sole diretto possono rendere difficile o impossibile lavorare all'esterno. Tali condizioni hanno effetti anche sul lavoro all'interno di edifici, ma spesso creano maggiore confusione perché sono indirette. Durante il periodo di raffreddamento, le ispezioni possono essere limitate all'interno o rimandate alla sera se si tratta di lavori da eseguire all'esterno. In condizioni ottimali, i tecnici qualificati individuano l'isolamento mancante, danneggiato o inefficace, nonché la posizione delle travi della struttura tramite l'utilizzo di termocamere.

### ***Rilevamento di spifferi d'aria***

Le infiltrazioni d'aria eccessive tra interno ed esterno degli edifici incidono su quasi la metà del costo di ventilazione e climatizzazione. Una perdita di aria, generalmente, è causata da differenze di pressione all'interno dell'edificio. Le differenze di pressione possono essere dovute al vento, ma possono dipendere anche dalle forze di tiraggio convettive presenti in ogni edificio e dagli squilibri di pressione associati al sistema di climatizzazione.



*La termografia può essere utilizzata per verificare eventuali fuoriuscite di calore da un edificio attraverso le finestre, i cornicioni o le pareti con isolamento insufficiente.*

Le differenze di pressione fanno sì che l'aria penetri in tutte le infiltrazioni presenti nell'edificio. Le vie di infiltrazione negli involucri termici, come le tubature elettriche o idrauliche, spesso sono piccole e difficili da notare. Un *involucro termico* è il limite di spazio da riscaldare, ventilare o raffreddare all'interno di un edificio.

Solitamente, è sufficiente una piccola differenza di temperatura di 3°C tra l'interno e l'esterno per rilevare perdite d'aria. L'aria da sola non è visibile ma i suoi modelli di temperatura rilevati sulle superfici dell'edificio spesso

presentano una caratteristica mappatura termica “a ciuffi”. **Vedere la figura 6-6.** Durante il periodo di riscaldamento, le mappature termiche vengono visualizzate come raggi freddi lungo le superfici interne o come “fioriture” calde sull'esterno nei punti in cui fuoriesce l'aria riscaldata. I movimenti di aria sono evidenti anche nelle intercapedini dell'edificio, sulle pareti interne o esterne isolate.

### **Superficie dell'edificio** **Mappe di temperatura**



**Figura 6-6.** Le mappe di temperatura relative alle perdite di aria spesso hanno una caratteristica mappatura termica “a ciuffi”.

Inducendo artificialmente una differenza di pressione sull'edificio, è possibile intensificare, indirizzare e quantificare le perdite d'aria. Ciò può essere fatto tramite l'utilizzo di un impianto di climatizzazione HVAC o di una blower door.

### **Rilevamento dell'umidità**

L'umidità negli edifici causa il deterioramento dei materiali di costruzione. Generalmente, l'umidità penetra dalle giunture strutturali, come le scossaline o le sigillature difettose. L'umidità può anche crearsi per condensa. Di solito, la condensa ha origine quando aria calda e umida entra in contatto con superfici fredde. Altre fonti di umidità sono rappresentate da allagamenti, falde sotterranee e perdite di impianti idraulici e sistemi d'irrigazione.

In tutti questi esempi, la mappatura termica dell'umidità presente è spesso chiara ed evidente, soprattutto se vi sono le condizioni giuste per l'evaporazione della superficie umida. In tal caso, la superficie apparirà fredda. I materiali edili inumiditi sono più conduttivi e, durante una transizione termica, hanno un'ampia capacità termica rispetto a quelli asciutti. In questa situazione, le mappature termiche non sempre sono chiare o evidenti. Occorre prestare molta attenzione nel verificare che vi siano le giuste condizioni per individuare l'umidità, se presente. Per confermare ciò che viene visualizzato su un'immagine termica esaminando un'area sospetta, ad esempio, è consigliabile eseguire una prova supplementare con un igrometro.

### **Ispezioni di edifici commerciali**

Mentre le ispezioni di edifici residenziali sono piuttosto semplici, quelle di grandi edifici commerciali, spesso, sono più complicate. Tuttavia, in genere, i profitti derivanti dalle ispezioni di grandi edifici sono notevoli e riescono a giustificare analisi e ispezioni approfondite. È fondamentale che i dettagli costruttivi degli edifici siano noti e resi completamente disponibili al tecnico di termografia per consentirgli di comprendere le interazioni complesse esistenti tra i diversi componenti dell'edificio.

Perdite di aria, infiltrazioni di acqua e condensa sono i problemi più comuni riscontrati negli edifici commerciali. Una termocamera è un potente strumento per la ricerca di numerosi problemi e difetti riscontrabili in ampie strutture. Se possibile, durante la costruzione di grandi edifici dovrebbero essere eseguite delle ispezioni man mano che i piani vengono chiusi e isolati con la posa delle principali finiture. Ciò consente di identificare e correggere eventuali problemi di progettazione o costruzione prima che l'edificio venga completato e abitato.



## METODOLOGIE DI ISPEZIONE

**P**er eseguire le ispezioni con le termocamere, esistono tre metodi principali. Metodo comparativo, metodo di riferimento e monitoraggio dell'andamento. Il metodo più appropriato viene scelto in base al tipo di apparecchiatura da ispezionare e al tipo di dati richiesti. Ciascun metodo può essere valido se utilizzato con la giusta applicazione.

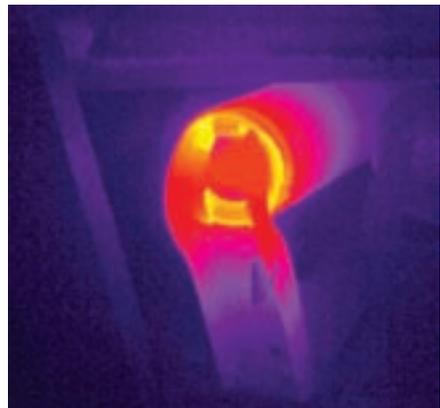
### **TERMOGRAFIA COMPARATIVA**

I termografi hanno sviluppato vari metodi per ampliare l'utilizzo della tecnologia. Il metodo utilizzato in numerose applicazioni termiche è quello della termografia comparativa. *La termografia comparativa* è un processo utilizzato dai termografi per confrontare componenti simili in condizioni simili al fine di valutare lo stato dell'apparecchiatura sottoposta a collaudo.

Se la termografia comparativa viene utilizzata correttamente, le differenze con l'apparecchiatura sottoposta a collaudo saranno utili a indicare lo stato della stessa. Rispetto alla termografia qualitativa, la termografia quantitativa richiede una conoscenza più completa delle variabili e delle limitazioni relative alla misura radiometrica. *La termografia quantitativa* è quel tipo di termografia che prevede la stima delle temperature radiometriche. *La termografia qualitativa* è quel tipo di termografia che non prevede la stima delle temperature radiometriche.

Prima di iniziare un'ispezione, è essenziale determinare il margine di errore accettabile e lavorare prestando molta attenzione a rimanere in quei limiti. Per comprendere la termografia quantitativa, è molto importante possedere fondamentali conoscenze pratiche

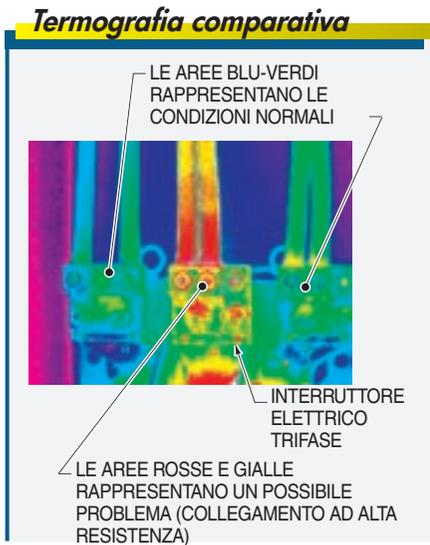
sul trasferimento del calore e sapere utilizzare bene una termocamera. La termografia prevede essenzialmente un lavoro comparativo. Confrontando un oggetto con un altro oggetto simile, spesso è facile rilevare problemi. Per tale processo competenze ed esperienza sono fondamentali poiché potrebbero esistere tante altre variabili da tenere in considerazione.



*Generalmente, la termografia qualitativa non prevede la stima delle temperature radiometriche. Questa confronta e contrappone le mappature termiche di componenti simili.*

Affinché la termografia comparativa sia efficace, il tecnico addetto deve eseguire il confronto considerando una sola variabile. Molto spesso questo requisito semplice ma essenziale non viene rispettato a causa delle circostanze che complicano un'ispezione o dello scadente metodo di lavoro utilizzato dal tecnico. Per questo motivo, i dati possono risultare non convincenti o fuorvianti. Per conoscere tutte le possibili influenze sulle mappature termiche osservate, occorre prestare molta attenzione.

Ad esempio, un'immagine termica di un interruttore elettrico trifase può mostrare una fase più calda delle altre. **Vedere la figura 7-1.** Se i carichi sulle tre fasi risultano bilanciati, probabilmente il riscaldamento irregolare è associato al collegamento ad alta resistenza. Tuttavia, se il carico viene misurato con un multimetro digitale e segna un carico di 30/70/30 A, ad esempio, il modello probabilmente è dovuto a uno sbilanciamento del carico della fase elettrica.



**Figura 7-1.** La termografia comparativa può essere utilizzata su un interruttore elettrico trifase e mostrare una delle fasi più calda delle altre.

La sola termocamera non riesce a “leggere” un'immagine. È combinando le capacità, l'esperienza e la perseveranza del tecnico nell'utilizzare correttamente le apparecchiature, insieme agli altri dati, che si ottiene una corretta interpretazione. Naturalmente, una diagnosi errata o una svista può causare un danno o la perdita di un'apparecchiatura costosa.

Quando si esegue una termografia comparativa, è utile conoscere bene l'oggetto osservato. Tale conoscenza include il metodo di costruzione, il normale funzionamento, il meccanismo di guasto, la direzione del flusso di calore o il suo storico operativo. Poiché spesso tali informazioni non sono facilmente disponibili, il termografo deve essere in grado di porre semplici domande al proprietario dell'apparecchiatura o all'addetto alla manutenzione.

Ancora più importante, deve ascoltare attentamente le risposte che gli vengono date. Molti tecnici non riescono né a porre domande né ad ascoltare le risposte; di conseguenza il loro lavoro viene penalizzato. Per un tecnico di termografia le doti comunicative sono importanti quanto le competenze tecniche, soprattutto quando si lavora con apparecchiature o materiali nuovi.

## TERMOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Le ispezioni di riferimento hanno lo scopo di stabilire un punto di riferimento dell'apparecchiatura operante in condizioni normali. È difficile determinare quale sia la condizione normale o prevista di un'apparecchiatura e utilizzarla come mappatura di riferimento a cui confrontare immagini successive. Spesso la mappatura di riferimento è identica o collegata in qualche modo alla struttura propria dell'oggetto analizzato. Ad esempio, dopo l'installazione e la messa in funzione di un motore, alcune differenze con la mappatura termica probabilmente saranno visibili

nelle immagini termiche successive. **Vedere la figura 7-2.**

### Termografia di riferimento



**Figura 7-2.** Le numerose differenze nella mappatura termica di un motore saranno evidenti in ispezioni termiche future.

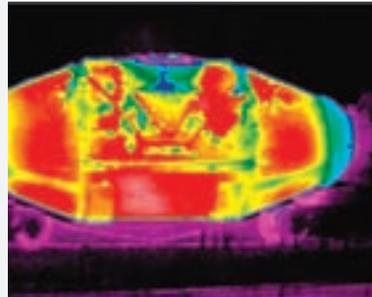
## ANDAMENTO TERMICO

Un altro metodo di ispezione termica è quello dell'andamento termico. *L'andamento termico* è un processo utilizzato dai termografi per confrontare le distribuzioni della temperatura nel corso del tempo in uno stesso componente. L'andamento termico è utilizzato molto soprattutto per esaminare le apparecchiature meccaniche laddove le normali mappature termiche possono risultare complesse. Questo metodo, inoltre, è utile quando le mappature termiche che rilevano un guasto spesso si sviluppano lentamente nel tempo. L'andamento termico può essere utilizzato, ad esempio, durante il monitoraggio delle prestazioni di un isolamento refrattario (ad alte temperature) in un carro siviera nel corso

del tempo per determinare la programmazione ottimale degli interventi di manutenzione programmata. **Vedere la figura 7-3.**

Per un termografo è importante comprendere tutte le variabili relative all'apparecchiatura esaminata. I tecnici devono comprendere i principi di funzionamento dei vari sistemi e specializzarsi nella ricerca dei guasti. Se i dati raccolti hanno criteri e cambiamenti comprensibili, questi metodi possono rivelare un andamento di prestazione molto preciso e utile. Tuttavia, è importante ricordare che l'andamento implica, e non prevede, il futuro.

### Andamento termico

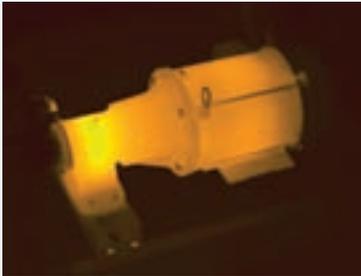


**Figura 7-3.** L'andamento termico è utilizzato per esaminare le apparecchiature ad alte temperature laddove le normali mappature termiche, come questa relativa a un siluro riempito di metallo fuso, possono risultare complesse e riescono soltanto ad indicare eventuali problemi nel tempo.

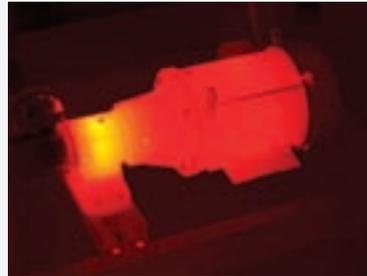
## Tavolozze di colori

### Tavolozze di colori

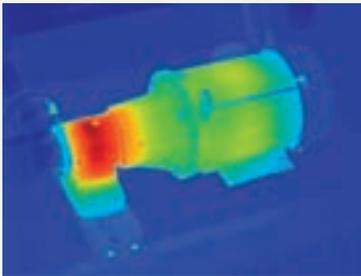
Una *tavolozza di colori* è una scala di colori utilizzata per illustrare le variazioni e i dettagli termici in una immagine termica. Durante l'ispezione o l'analisi, l'obiettivo è scegliere la tavolozza che identifica e segnala al meglio il problema. L'ideale sarebbe scegliere una termocamera che consenta all'utente di selezionare o modificare la tavolozza desiderata sia nella telecamera sia nel software. Alcune applicazioni, ad esempio, possono essere visualizzate e analizzate meglio in una tavolozza monocromatica, ad esempio nella scala di grigi o ambra. Altre situazioni possono essere più facili da evidenziare e analizzare in una tavolozza a colori come ironbow, blu-rosso, o in una tavolozza con contrasto elevato. Un'ampia scelta di tavolozze a colori consente al tecnico una maggiore flessibilità nelle ispezioni, nelle analisi e nella creazione di rapporti termici.



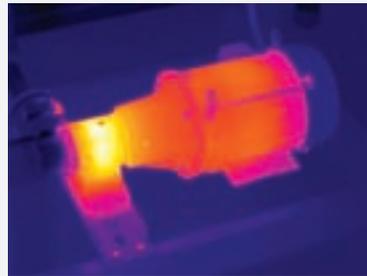
AMBRA



METALLO CALDO



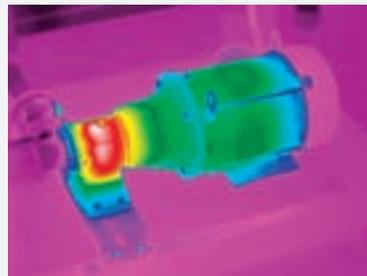
BLU-ROSSO



IRONBOW



SCALA DI GRIGI



CONTRASTO ELEVATO



## ANALISI, RAPPORTI E DOCUMENTAZIONE

**O**ltre a saper maneggiare e utilizzare in modo corretto una termocamera, il lavoro di un tecnico di termografia consiste nell'analizzare, fare relazioni e documentare i risultati delle apparecchiature ispezionate. Per eseguire queste attività, sono disponibili strumenti di analisi specifici.

### **ANALISI DELLE SOLUZIONI**

L'attendibilità della termografia dipende molto dall'abilità del tecnico di eseguire correttamente un'ispezione, capire i limiti del lavoro, registrare tutti i dati importanti e interpretare bene i risultati. Le variabili riscontrate dal tecnico di termografia possono essere varie e numerose. Di conseguenza, per eseguire le ispezioni termiche i tecnici devono possedere la giusta preparazione e qualifica.

I livelli di certificazione dei tecnici di termografia sono Livello I, II, III; il livello I è quello più basso, il livello III quello più alto. Con l'ausilio di un programma professionale di termografia, un esperto di termografia con livello di certificazione I è qualificato per raccogliere i dati, ma deve svolgere le sue attività sotto la supervisione di un tecnico con livello di certificazione II. I tecnici con livello di certificazione II sono qualificati per interpretare i dati e scrivere report. Un programma professionale di termografia deve essere corredato da procedure di ispezione scritte, generalmente basate su standard industriali e sviluppate con il supporto di un tecnico con livello di certificazione III.

### **RAPPORTI E DOCUMENTAZIONE**

Dopo aver fatto una corretta valutazione dei dati, occorre comunicare i risultati sotto forma

di relazione scritta. Durante il processo di stesura dei rapporti può essere necessario informare il cliente delle limitazioni della termografia e del valore delle ispezioni termiche. Nella parte finale del report, spesso vengono riportate le azioni utili a correggere tutti i problemi evidenziati durante l'ispezione.

Di solito un tecnico di termografia fornisce anche informazioni aggiuntive relative alla localizzazione del problema, alla diagnosi e alle azioni correttive suggerite. Un tecnico fornisce informazioni chiave, risultanti da un'ispezione termica, da integrare a quelle provenienti da altre ispezioni e verifiche, dalle attività di manutenzione o riparazioni programmate nonché dall'analisi dei costi, prima che sia raggiunta una conclusione soddisfacente. Quindi, oltre ad avere buone capacità tecniche, occorre avere buone capacità di comunicazione.

I rapporti possono essere scritti in stili diversi e riportare una varietà di dati. Tuttavia, un rapporto deve contenere le seguenti informazioni:

- Nome del tecnico
- Marca, modello e numero di serie della termocamera
- Condizioni ambientali significative, come velocità e direzione del vento, precipitazioni, umidità e temperatura ambiente
- Condizioni del sistema, come il load cycle e il duty cycle

- Identificazione e localizzazione delle apparecchiature e dei componenti ispezionati o esaminati
- Elenco delle apparecchiature critiche non ispezionate o esaminate con la spiegazione dell'omissione
- Impostazioni dei parametri degli strumenti, come le impostazioni dell'emissività e le impostazioni di base
- Immagini termiche con le relative immagini reali di tutte le apparecchiature e i componenti ispezionati o esaminati
- Una sezione che richiede un'immagine ad infrarossi supplementare per documentare l'avvenuta riparazione dell'apparecchiatura

La documentazione, inoltre, deve essere conforme al rapporto, presentando le informazioni essenziali in modo chiaro ed efficiente. I migliori rapporti sulle ispezioni termiche riportano un flusso naturale di dati a supporto delle immagini termiche e reali. **Vedere la figura 8-1.**

Avere accesso a una raccolta di modelli di rapporti può essere di aiuto. Un modello di rapporto semplice, ad esempio, può essere utile per documentare le riparazioni eseguite su un'apparecchiatura sottoposta a ispezione termica o a un test. I modelli di report specifici possono essere utilizzati per categorie particolari di ispezioni termiche.

Tutte le volte che viene compilato un rapporto, è necessario distribuire le copie aggiuntive al personale responsabile. Le copie possono essere in formato cartaceo o elettronico. Prima di inviare i rapporti in formato elettronico, è necessario salvarli e renderli non modificabili (come per il formato PDF) per evitare che le informazioni in essi contenute si confondano con quelle provenienti da ispezioni e analisi di test.

È possibile ottenere informazioni preziose dai test e dalle ispezioni termiche tenendo traccia dei singoli problemi in modo più schematico e specifico. È possibile, ad esempio, identificare e memorizzare le informazioni relative ai

problemi verificatisi con una determinata marca di apparecchiatura o con un particolare processo. Successivamente, è possibile recuperare queste informazioni e identificare i problemi come comuni a determinate apparecchiature, in modo da fornire suggerimenti validi per i futuri utenti.

Oltre a maneggiare e utilizzare correttamente una termocamera, un bravo tecnico deve essere in grado di analizzare e documentare i risultati attraverso un report. Tale requisito è necessario per eseguire un lavoro coerente e di alta qualità. I report contengono tutte le possibili raccomandazioni formulate in seguito alle ispezioni.

### **Rapporti termici e Documentazione**



IMMAGINE REALE



IMMAGINE TERMICA

**Figura 8-1.** I rapporti sulle ispezioni termiche, di solito, contengono le immagini termiche e le rispettive immagini reali di riferimento.

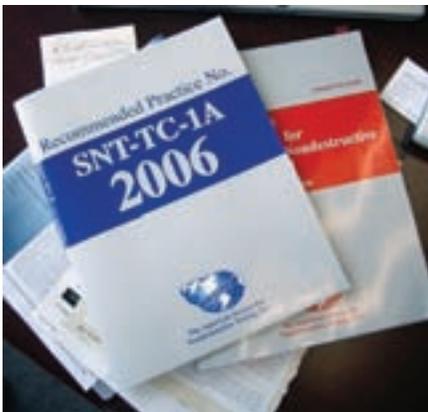


## LE RISORSE DELLA TERMOGRAFIA

**L**e risorse possono essere impiegate per ottenere informazioni aggiuntive sulla termografia e sulle termocamere ovvero sugli aggiornamenti delle apparecchiature, sulla sicurezza, sui seminari di formazione, sugli strumenti educativi, sugli organismi di standardizzazione e sulle organizzazioni professionali. Tali risorse sono disponibili in formato elettronico e cartaceo.

### **RISORSE**

Una quantità notevole di informazioni specifiche sulla termografia e sulle termocamere è disponibile in vari tipi di risorse. Nelle applicazioni industriali-commerciali e in quelle di diagnostica per l'edilizia, la tecnologia è disponibile da oltre 40 anni. Tuttavia, molti professionisti, come i tecnici e gli elettricisti addetti alla manutenzione, sono nella prima fase di apprendimento della tecnologia e dei vantaggi offerti dalla termografia e dalle termocamere.



*Le risorse prevedono materiale scritto preparato dai vari organismi di standardizzazione.*

In seguito allo sviluppo di nuove informazioni, negli ultimi anni si è fatto grande ricorso alla termografia. Occorre tenere presente che alcune informazioni sulla termografia, soprattutto quelle pubblicate su Internet, potrebbero essere imprecise o non attendibili. Si consiglia pertanto di acquisire le nozioni basilari da fonti come questa pubblicazione e le altre sotto elencate. Si raccomanda, inoltre, di documentarsi verificando l'attendibilità delle informazioni provenienti da fonti sconosciute. Sono considerate risorse gli standard, le risorse online, i libri e i materiali stampati, le organizzazioni professionali.

### **Standard**

Uno *standard* è un riferimento o una pratica sviluppata da professionisti. Gli standard prevedono un insieme di criteri in base ai quali eseguire un lavoro. Mentre la conformità a uno standard industriale può essere facoltativa, è buona norma attenersi agli standard approvati e riconosciuti. Gli standard sono creati dagli esperti di un dato settore e sono disponibili in varie realtà industriali. **Vedere la figura 9-1.** Gli standard possono rappresentare una valida fonte di informazioni specifiche e dettagliate sui vari aspetti della termografia.

### Risorse online

Una *risorsa online* è una risorsa disponibile agli utenti soltanto attraverso Internet. Tali risorse offrono una varietà di istruzioni per studenti, specialisti in termografia e tecnici. Generalmente, le informazioni aggiuntive vengono fornite dai costruttori delle apparecchiature, dagli organismi di standardizzazione, tramite i materiali per l'apprendimento e dalle organizzazioni professionali. Una risorsa online può essere, ad esempio, un forum dal vivo in cui i rappresentanti dei costruttori di apparecchiature possono “dialogare” con gli utenti in merito alla ricerca guasti o dare consigli sull'utilizzo delle apparecchiature.

### Libri e materiali stampati

I libri e i materiali stampati sono fonti cartacee che possono essere utilizzate come riferimento tecnico. Questi consentono a tutti coloro che ricorrono alla termografia e alla tecnologia a infrarossi per eseguire test e ispezioni di arricchire le proprie conoscenze al riguardo. A tale proposito, sono disponibili numerosi libri e materiali stampati.

### Organizzazioni professionali

Un'*organizzazione professionale* è un'organizzazione che offre informazioni e istruzioni sulla termografia attraverso pubblicazioni, corsi di formazione e interventi scritti. Gli esperti di termografia e i tecnici vengono incoraggiati ad aderire a varie organizzazioni professionali. Aderendo a tali organizzazioni, i professionisti sono sempre aggiornati sulle ultime tecnologie, tendenze e sui cambiamenti del settore industriale di appartenenza. La partecipazione a un'organizzazione professionale consente una maggiore conoscenza dei processi della

termografia nonché delle ultime apparecchiature e tecniche di ispezione e test.

<b>Organismi di standardizzazione</b>	
American Society for Nondestructive Testing (ASNT, società americana specializzata in controlli non distruttivi)	
1711 Arlingate Lane PO Box 28518 Columbus, OH 43228 614-274-6003	www.asnt.org
ASTM International (ASTM)	
100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken, PA 19428 610-832-9598	www.astm.org
Canadian Standards Association (CSA)	
5060 Spectrum Way Suite 100 Mississauga, ON L4W 5N6	www.csa.ca
Istituto degli Ingegneri Elettrici ed Elettronici (IEEE)	
1828 L Street NW Suite 1202 Washington, DC 20036 202-785-0017	www.ieee.org
Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC)	
3, rue de Varembe' PO Box 131 CH-121 Ginevra 20 Svizzera	www.iec.ch
Organizzazione internazionale per la standardizzazione (ISO)	
1, ch. de la Voie-Creuse Casella postale 56 CH-1211 Ginevra 20, Svizzera +41 22 749 01 11	www.iso.org
National Fire Protection Association (NFPA)	
1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169 617-770-3000	www.nfpa.org

**Figura 9-1.** Gli standard sono raccomandazioni o procedure sviluppate da professionisti e sono disponibili presso varie organizzazioni.



## ALTRE TECNOLOGIE AFFINI

**O**ltre alla termografia esistono altre tecnologie e metodi di analisi che vengono utilizzate per il collaudo, l'ispezione e la ricerca guasti nelle apparecchiature commerciali e industriali. Questi metodi prevedono ispezioni visive e acustiche, analisi elettriche, degli ultrasuoni, delle vibrazioni, dell'olio lubrificante e delle particelle usurate. Questi possono essere utilizzati singolarmente per la ricerca dei guasti nelle apparecchiature o in abbinamento all'utilizzo di termocamere per verificare i risultati dei test.

### ISPEZIONE VISIVA E ACUSTICA

L'ispezione visiva e acustica è l'analisi sensoriale dei problemi di un'apparecchiatura durante il funzionamento, che serve a individuare i componenti su cui potrebbe essere necessario eseguire interventi di manutenzione o riparazioni.

**Vedere la figura 10-1.** L'ispezione visiva e acustica è la procedura di manutenzione predittiva (PdM) più semplice eseguita in un impianto, per cui non è necessario utilizzare alcun tipo di strumenti o apparecchiature. Questa è la procedura più efficace da eseguire qualora il problema risultasse evidente al tecnico addetto alla manutenzione. Grazie a questa analisi, vengono evidenziate le caratteristiche di funzionamento anomalo e programmati gli interventi di manutenzione dell'apparecchiatura.

L'ispezione visiva può essere integrata con processi che prevedono l'applicazione di soluzioni coloranti penetranti utili a localizzare eventuali fratture superficiali dei metalli. Il metallo viene pulito e cosparso di un colorante che si accumula in piccole cricche o buchi presenti sulla superficie del metallo. Il colorante in eccesso viene rimosso in modo da individuare piccole crepe o buchi sulla superficie.

### Ispezione visiva e acustica



**Figura 10-1.** I tecnici addetti alla manutenzione controllano con molta frequenza l'aspetto e i suoni generati dall'apparecchiatura tramite ispezioni visive e acustiche.

### ANALISI ELETTRICA

L'analisi elettrica è un metodo di analisi che prevede l'utilizzo di apparecchiature di monitoraggio elettrico per valutare la qualità dell'alimentazione elettrica dell'apparecchiatura e le prestazioni dell'apparecchiatura elettrica. **Vedere la figura 10-2.** Le apparecchiature di monitoraggio elettrico possono essere installate per misurare le tensioni massime e minime, la variazione di tensione fase-fase, le cadute di tensione e i valori di corrente.

Queste, inoltre, servono a valutare la qualità dell'alimentazione fornita ad apparecchiature elettroniche sensibili.

### **Analisi elettrica**



**Figura 10-2.** L'analisi elettrica prevede l'utilizzo di strumenti di monitoraggio che servono a valutare l'alimentazione dell'apparecchiatura.

Una delle applicazioni più comuni dell'analisi elettrica è quella relativa ai motori e ai circuiti elettrici. *L'analisi del circuito di un motore (MCA)* è un tipo di analisi elettrica per motori e circuiti che può essere eseguita online (con alimentazione) oppure offline (senza alimentazione). Entrambi i metodi di test consentono una individuazione precoce dei difetti e dei guasti nella distribuzione elettrica dei motori, nei circuiti dei motori e nei sistemi d'ingranaggio dell'azionamento del motore.

### **RILEVAMENTO DEGLI ULTRASUONI A PROPAGAZIONE AEREA**

Il rilevamento degli ultrasuoni a propagazione aerea è un metodo di analisi che consiste nell'amplificare il suono ad alta frequenza in modo da identificare i possibili problemi dell'apparecchiatura. Un dispositivo di ascolto sensibile converte questi suoni, che normalmente non sono percepibili, in segnali che possono essere percepiti dall'uomo. Questi segnali possono indicare, tra l'altro, il riscaldamento anomalo di collegamenti elettrici, perdite dai sistemi ad aria e a vapore, attrito nei cuscinetti e molti altri problemi delle apparecchiature.

### **ANALISI DELLE VIBRAZIONI**

*L'analisi delle vibrazioni* è il monitoraggio delle caratteristiche di vibrazione dei singoli componenti che serve a determinare le condizioni dell'apparecchiatura. Le parti usurate causano spesso guasti all'apparecchiatura. Inoltre, aumentano le vibrazioni e la rumorosità, che possono essere isolate. L'analisi delle vibrazioni è la tecnica più comune di monitoraggio utilizzata su apparecchiature con parti rotanti.

### **ANALISI DELL'OLIO LUBRIFICANTE**

L'analisi dell'olio lubrificante è una tecnica di manutenzione preventiva che rileva la presenza di acido, sporcizia, carburante o particelle usurate nell'olio lubrificante ed esamina tali sostanze in modo da poter prevedere un eventuale guasto dell'apparecchiatura. L'analisi dell'olio lubrificante viene eseguita in modo programmato. Viene prelevato un campione di olio dalla macchina per determinare lo stato del lubrificante e delle parti mobili. Generalmente, i campioni vengono inviati ad aziende specializzate nell'analisi di oli lubrificanti.

### **ANALISI DELLE PARTICELLE USURATE**

L'analisi delle particelle usurate è lo studio delle eventuali particelle usurate presenti nell'olio lubrificante. Mentre tramite l'analisi dell'olio lubrificante viene esaminato essenzialmente lo stato dell'olio lubrificante, con l'analisi delle particelle usurate si osserva dimensione, quantità, forma e composizione delle particelle prodotte dalle parti usurate. Lo stato dell'apparecchiatura viene valutato monitorando le particelle usurate. Le parti dell'apparecchiatura sono soggette ad usura perché sono sempre in contatto tra di loro. Un aumento del numero e delle dimensioni delle particelle usurate nell'olio lubrificante indica una parte usurata o è indice di un possibile guasto.



## Indice analitico

### **A**

alloggiamenti elettrici 15  
American Society for Nondestructive Testing (ASNT) 14  
American Society of Testing Materials (ASTM) International 16  
analisi del circuito del motore (MCA) 66  
analisi delle particelle usurate 66  
analisi delle vibrazioni 66  
analisi dell'olio lubrificante 66  
analisi di ispezione 61  
analisi elettrica 65–66, 66  
analisi ultrasonica 66  
andamento termico\* 59  
applicazioni della termografia  
  applicazioni elettriche 45–48  
  applicazioni elettromeccaniche 49  
  applicazioni meccaniche 49  
applicazioni di processo 50–51  
applicazioni elettriche della termografia 45–48  
ASNT 14  
assorbimento 23  
ASTM 16

### **C**

campo visivo (FOV) 26, 27  
campo visivo istantaneo (IFOV) 26–27  
capacità termica 20  
Case, Theodore 2  
cecità notturna 16  
comandi\* 7  
conduttore 21  
conduzione 20–21  
convezione 21–22, 22

### **D**

diagnostica di edifici 51  
  rilevamento di perdite di aria 54–55, 55  
  ispezione dell'isolamento 53  
  ispezione di edifici commerciali 55  
  ispezioni per il rilevamento di umidità sui tetti 52–54, 53  
  rilevamento di umidità 55  
display\* 6

dispositivi di memorizzazione dati 7–8  
dispositivi di protezione individuale (DPI)\* 46  
DPI\* 46

### **E**

eccezione termica 45  
effetti ambientali 28  
emissione 23, 24  
energia 19  
energia elettromagnetica 22  
esplosione di arco 14

### **F**

finestrina trasparente a infrarossi\* 47  
FOV 26, 27

### **G**

gradiente termico 48

### **H**

Herschel, Sir John 2  
Herschel, Sir William 1–2

### **I**

IFOV 26  
immagine radiometrica 3  
involucro termico 54  
ISO 14  
isolante 21  
ispezione degli andamenti 50  
ispezione dei motori 49  
ispezione della linea base 50  
ispezione dell'isolamento 53  
ispezione dell'isolamento dell'edificio 53  
ispezione di edifici commerciali 55  
ispezione, ispezione termica 67  
ispezione termica  
  applicazioni di processo 50–51  
  applicazioni elettriche 45–48  
  applicazioni elettromeccaniche 49  
  applicazioni meccaniche 49  
  diagnostica di edifici 51–56  
  termografia base 58–59, 59  
  ispezione visiva e acustica\* 65

ispezione visiva e acustica\* 65  
 ispezioni elettromeccaniche 49  
 ispezioni meccaniche 49  
 ispezioni per il rilevamento di umidità sui tetti  
 52–54, 53  
 istantanea 7

## L

legge di Stefan-Boltzmann 22  
 Le risorse della termografia 63–64  
 libri sulla termografia 64  
 limite di protezione dalla scarica 14, 15  
 livello dei liquidi 50–51, 51  
 livello dei materiali 50–51, 51

## M

mappatura termica 9, 49  
 matrice su piano focale (FPA) 3–4, 4  
 MCA 66  
 Melloni, Macedonio 2  
 micron ( $\mu\text{m}$ ) 4  
 Misura IFOV 27, 28

## N

Nobili, Leopoldo 2  
 norme 16–17

## O

obiettivo 5, 6  
 Occupational Safety and Health Administration  
 (OSHA) 16  
 organismi 63  
 di standardizzazione 64  
 Organizzazione internazionale per la  
 standardizzazione (ISO) 14  
 organizzazione professionale 64  
 OSHA 16

## P

persona qualificata 15  
 pixel 3–4  
 precisione della misura della temperatura 26  
 campo visivo istantaneo (IFOV) 26–27  
 effetti ambientali 28  
 campo visivo (FOV) 26, 27  
 primo principio della termodinamica 19  
 procedure di controllo 16–17

## Q

qualifica di termografo 13, 13–14

## R

radiazione 1, 20, 22–23, 24  
 radiazione termica 22–23

reporting e documentazione 61–62, 62  
 report sulle ispezioni 61–62, 62  
 riflessione 24  
 rilevamento dell'umidità 55  
 Rilevamento di perdite di aria 54–55, 55  
 rilevatore ed elementi elettronici di elaborazione 6–7  
 risorse 63–64  
 risorse online 64

## S

scarica ad arco 14  
 secondo principio della termodinamica 19  
 Seebeck, Thomas 2  
 sicurezza sul posto di lavoro 14–16  
 software 8  
 software di creazione report 8  
 software di elaborazione 8  
 software di elaborazione dati 8  
 spettro elettromagnetico\* 23

## T

target 4, 5  
 tecnico addetto alla manutenzione 65  
 tecnico di termografia  
 certificazione 61  
 compiti di documentazione 61–62  
 Temperatura 19  
 temperatura superficiale 25–26  
 termica 25, 26  
 termocamera 2, 3, 6, 17  
 componenti 5–8  
 funzionamento 4, 5  
 sviluppo della 2–4  
 termocamera ad onda lunga 4  
 termocamera a onda media 4  
 termodinamica 19  
 termografia  
 termografia comparativa 57–58, 58  
 termografia qualitativa 57  
 termografia quantitativa 57  
 termografia a infrarossi 1  
 storia della 1–4  
 termografia comparativa 57–58, 58  
 termografia di base 58–59, 59  
 termografia qualitativa 57  
 termografia quantitativa 57  
 termogramma 4–5  
 tetto spiovente 52  
 trasferimento di calore 19–20  
 trasmissione 23, 24

## U

ultrasuoni a propagazione aerea 47

## V

vidicon piroelettrico (PEV) 3