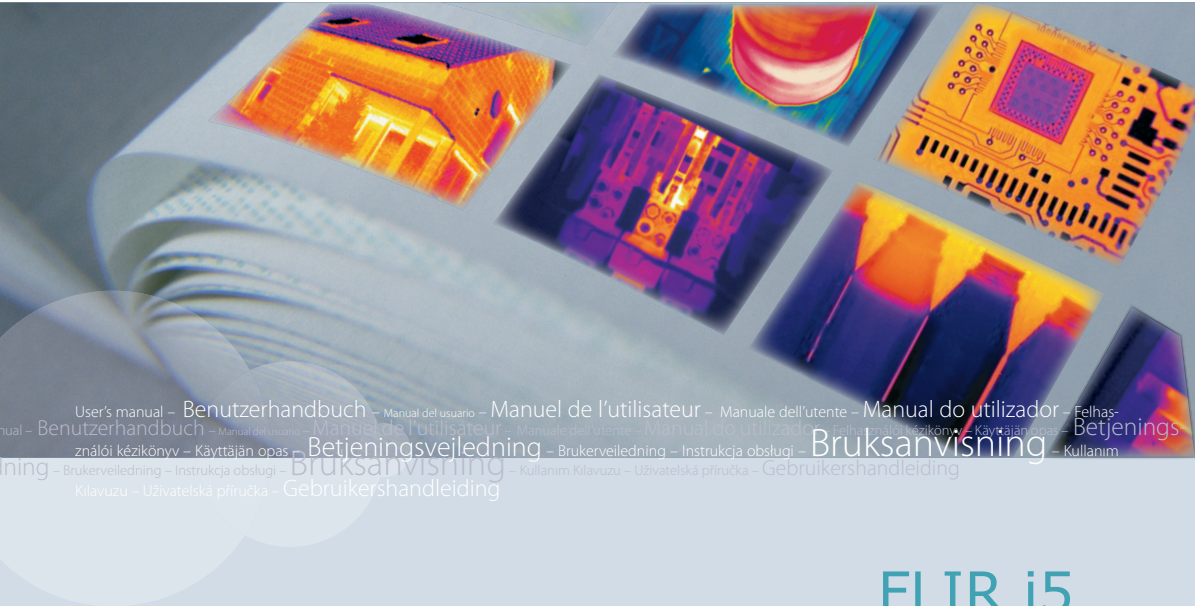


# Manuale dell'utente



User's manual – Benutzerhandbuch – Manual del usuario – Manuel de l'utilisateur – Manuale dell'utente – Manual do utilizador – Felhasználói kézikönyv – Käyttäjän opas – Betjeningsvejledning – Brukerveiledning – Instrukcja obsługi – Bruksanvisning – Kullanim Kilavuzu – Uživatelská příručka – Gebruikershandleiding

## FLIR i5

Publ. No.	T559031
Revision	a296
Language	Italian (IT)
Issue date	July 29, 2008



<b>Avvertenze</b>	<b>1</b>
<b>Nota per l'utente</b>	<b>2</b>
<b>Assistenza ai clienti</b>	<b>3</b>
<b>Nota importante sul manuale</b>	<b>4</b>
<b>Guida introduttiva</b>	<b>5</b>
<b>Elenco dei materiali</b>	<b>6</b>
<b>Componenti della termocamera</b>	<b>7</b>
<b>Elementi del display</b>	<b>8</b>
<b>Connettori e supporti di memorizzazione</b>	<b>9</b>
<b>Utilizzo della termocamera</b>	<b>10</b>
<b>Pulizia della termocamera</b>	<b>11</b>
<b>Dati tecnici</b>	<b>12</b>
<b>Dimensioni</b>	<b>13</b>
<b>Esempi di applicazioni</b>	<b>14</b>
<b>Introduzione alla termografia degli edifici</b>	<b>15</b>



<b>Introduzione alle ispezioni termografiche di impianti elettrici</b>	<b>16</b>
<b>Informazioni su FLIR Systems</b>	<b>17</b>
<b>Glossario</b>	<b>18</b>
<b>Tecniche di misurazione termografica</b>	<b>19</b>
<b>Storia della tecnologia a infrarossi</b>	<b>20</b>
<b>Teoria della termografia</b>	<b>21</b>
<b>La formula di misurazione</b>	<b>22</b>
<b>Tabelle di emissività</b>	<b>23</b>



---

# FLIR i5

*Manuale dell'utente*



---

## Dichiarazione di non responsabilità

Tutti gli articoli prodotti da FLIR Systems prevedono una garanzia di copertura della durata di un (1) anno dalla data di consegna del prodotto originale; la finalità di tale garanzia è quella di tutelare l'acquirente nel caso in cui i materiali e la lavorazione del prodotto acquistato risultino difettosi, purché si dimostri che il prodotto sia stato correttamente conservato, utilizzato e siano state effettuate le opportune procedure manutentive in conformità alle istruzioni fornite da FLIR Systems.

Tutti i prodotti inclusi nei sistemi forniti da FLIR Systems all'acquirente originale, e che non recano il marchio dell'azienda, sono coperti solo dalla garanzia prevista dal fornitore, nel caso in cui ne esista una; pertanto FLIR Systems non è da ritenersi in alcun modo responsabile per tali prodotti.

Poiché la garanzia vale esclusivamente per l'acquirente originale, non è in alcun modo possibile trasferirla. Inoltre, tale garanzia non è valida per qualsivoglia prodotto utilizzato in modo improprio e in condizioni di funzionamento anormali o accidentali. Le parti di ricambio sono escluse dalla garanzia.

Nell'eventualità in cui si riscontrino difetti in uno dei prodotti coperti dalla presente garanzia, sospendere l'utilizzo del prodotto in modo da impedire che si verifichino danni aggiuntivi. L'acquirente è tenuto a comunicare prontamente a FLIR Systems la presenza di eventuali difetti o malfunzionamenti; in caso contrario, la presente garanzia non è da intendersi effettiva.

FLIR Systems ha la facoltà di decidere, a sua sola discrezione, se riparare o sostituire gratuitamente qualsiasi prodotto nell'eventualità in cui, dopo aver effettuato i debiti accertamenti, il prodotto risulti essere realmente difettoso sia nei materiali che nella lavorazione e purché esso venga restituito a FLIR Systems entro detto periodo di un anno.

Gli obblighi e le responsabilità di FLIR Systems in materia di guasti sono da intendersi limitati alle clausole sopra enunciate.

Pertanto, nessun'altra garanzia è da considerarsi espressa o implicita. FLIR Systems disconosce specificamente qualunque garanzia implicita di commerciabilità e idoneità del prodotto per usi particolari.

FLIR Systems non è da ritenersi in alcun modo responsabile di eventuali danni diretti, indiretti, particolari, accidentali o conseguenti, siano essi basati su contratto, illecito civile o altri fondamenti giuridici.

## Copyright

© FLIR Systems, 2008. Tutti i diritti riservati. Nessuna parte del software, compreso il codice sorgente, può essere riprodotta, trasmessa, trascritta o tradotta in qualsiasi lingua o linguaggio informatico, in qualunque forma o mediante qualsivoglia supporto elettronico, magnetico, ottico, manuale o altro, senza previa autorizzazione scritta di FLIR Systems.

Il presente manuale non può essere, né tutto né in parte, fotocopiato, riprodotto, tradotto o trasmesso in forma leggibile da qualsiasi supporto o dispositivo elettronico senza previo consenso scritto da parte di FLIR Systems.

I nomi e i marchi visibili sui prodotti accompagnati dal presente documento sono marchi registrati o marchi di proprietà di FLIR Systems e/o relative filiali. Tutti gli altri marchi, nomi commerciali o di società citati nel presente documento sono usati unicamente a scopo di identificazione e appartengono ai rispettivi proprietari.

## Certificazione di qualità

Il Sistema per la gestione della qualità in base al quale vengono sviluppati e realizzati i prodotti FLIR ha ottenuto la certificazione ISO 9001.

FLIR Systems è impegnata a perseguire una politica di continuo sviluppo, pertanto l'azienda si riserva il diritto di apportare modifiche e migliorie, senza previa notifica, a tutti i prodotti descritti nel presente manuale.

## Brevetti

Ai prodotti e alla caratteristiche descritte nel presente manuale si applicano uno o più dei seguenti brevetti, registrazioni modello, brevetti in sospenso o registrazioni modello in sospenso:

518836; 1188086; 1299699; 1678485; 6707044; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 0002258-2; 00809178.1; 0101577-5; 0102150-0; 01823221.3; 0200629-4; 02728291.2; 0300911-5; 0302837-0; 03715895.3; 03811432.1; 06112753.6; 06114308.7; 10/491168; 11/116444; 11/549667; 11/772259; 11/773977; 11/773982; 12/017386; 12/025068; 12/060891; 12/114865; 2000-620406; 2002-588070; 2002-588123; 2003-573394; 2004-505974; 200480034894.0; 200610077247.9; 200610088759.5; 2006-122929; 2006-156079; 2006-537931; 60/595071; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; ZL01823226.4;

## EULA Terms

- You have acquired a device ("INFRARED CAMERA") that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates ("MS"). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("SOFTWARE") are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT ("EULA"), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.

- 
- **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
  - **No Liability for Certain Damages.** EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.\$250.00).
  - **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
  - **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
  - **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see <http://www.microsoft.com/exporting/>.

---

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

---

# Sommario

<b>1</b>	<b>Avvertenze</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Nota per l'utente</b> .....	3
<b>3</b>	<b>Assistenza ai clienti</b> .....	5
<b>4</b>	<b>Nota importante sul manuale</b> .....	7
<b>5</b>	<b>Guida introduttiva</b> .....	9
<b>6</b>	<b>Elenco dei materiali</b> .....	13
<b>7</b>	<b>Componenti della termocamera</b> .....	15
<b>8</b>	<b>Elementi del display</b> .....	19
<b>9</b>	<b>Connettori e supporti di memorizzazione</b> .....	21
<b>10</b>	<b>Utilizzo della termocamera</b> .....	23
10.1	Ricarica della batteria .....	23
10.2	Cambio della tavolozza dei colori .....	25
10.3	Salvataggio di un'immagine .....	26
10.4	Richiamo di un'immagine .....	27
10.5	Apertura dell'archivio delle immagini .....	28
10.6	Eliminazione di un'immagine .....	29
10.7	Eliminazione di tutte le immagini .....	30
10.8	Modifica delle impostazioni .....	31
10.9	Modifica della modalità immagine .....	32
10.10	Impostazione delle proprietà della superficie .....	33
10.11	Modifica dell'emissività .....	34
10.12	Modifica della temperatura apparente riflessa .....	35
10.13	Reset della termocamera .....	36
<b>11</b>	<b>Pulizia della termocamera</b> .....	37
11.1	Rivestimento esterno, cavi e altri componenti della termocamera .....	37
11.2	Obiettivo a infrarossi .....	38
<b>12</b>	<b>Dati tecnici</b> .....	39
<b>13</b>	<b>Dimensioni</b> .....	43
13.1	Termocamera (anteriore) .....	43
13.2	Termocamera (laterale) .....	44
<b>14</b>	<b>Esempi di applicazioni</b> .....	45
14.1	Infiltrazioni di acqua e umidità .....	45
14.2	Contatto difettoso in una presa .....	46
14.3	Presa ossidata .....	47
14.4	Carenze d'isolamento .....	48
14.5	Corrente d'aria .....	49
<b>15</b>	<b>Introduzione alla termografia degli edifici</b> .....	51
15.1	Nota importante .....	51

15.2	Tipiche ispezioni sul campo .....	51
15.2.1	Linee guida .....	51
15.2.1.1	Linee guida generali .....	51
15.2.1.2	Linee guida per il rilevamento dell'umidità, della muffa e dei danni causati dall'acqua .....	52
15.2.1.3	Linee guida per il rilevamento di infiltrazioni d'aria e difetti di isolamento .....	52
15.2.2	Rilevamento dell'umidità .....	53
15.2.3	Rilevamento dell'umidità (1): tetti commerciali con poca pendenza .....	53
15.2.3.1	Informazioni generali .....	53
15.2.3.2	Norme di sicurezza .....	54
15.2.3.3	Strutture di edifici con commenti .....	55
15.2.3.4	Immagini termiche con commenti .....	56
15.2.4	Rilevamento dell'umidità (2): facciate di edifici commerciali e residenziali .....	58
15.2.4.1	Informazioni generali .....	58
15.2.4.2	Strutture di edifici con commenti .....	58
15.2.4.3	Immagini termiche con commenti .....	60
15.2.5	Rilevamento dell'umidità (3): copertine e balconi .....	61
15.2.5.1	Informazioni generali .....	61
15.2.5.2	Strutture di edifici con commenti .....	62
15.2.5.3	Immagini termiche con commenti .....	64
15.2.6	Rilevamento dell'umidità (4): rotture e perdite dell'impianto idraulico .....	64
15.2.6.1	Informazioni generali .....	64
15.2.6.2	Immagini termiche con commenti .....	65
15.2.7	Infiltrazioni d'aria .....	67
15.2.7.1	Informazioni generali .....	67
15.2.7.2	Strutture di edifici con commenti .....	67
15.2.7.3	Immagini termiche con commenti .....	69
15.2.8	Carenze d'isolamento .....	70
15.2.8.1	Informazioni generali .....	70
15.2.8.2	Strutture di edifici con commenti .....	71
15.2.8.3	Immagini termiche con commenti .....	72
15.3	Teoria di scienza delle costruzioni .....	74
15.3.1	Informazioni generali .....	74
15.3.2	Effetti delle prove e dei controlli .....	75
15.3.3	Fonti di interferenze nella termografia .....	77
15.3.4	Temperatura della superficie e infiltrazioni d'aria .....	78
15.3.4.1	Condizioni di pressione in un edificio .....	79
15.3.5	Condizioni di misurazione e stagione di misurazione .....	84
15.3.6	Interpretazione delle immagini termiche .....	84
15.3.7	Umidità e punto di rugiada .....	86
15.3.7.1	Umidità relativa e assoluta .....	86
15.3.7.2	Definizione di punto di rugiada .....	87
15.3.8	Estratto dalla nota tecnica 'Valutazione di ponti termici e continuità di isolamento' (esempio Regno Unito) .....	88
15.3.8.1	Riconoscimenti .....	88
15.3.8.2	Introduzione .....	88
15.3.8.3	Informazioni preliminari .....	88
15.3.8.4	Stima quantitativa delle anomalie termiche .....	89
15.3.8.5	Condizioni e apparecchiature .....	93
15.3.8.6	Indagine e analisi .....	94
15.3.8.7	Creazione di report .....	95
15.4	Declinazione di responsabilità .....	97

15.4.1	Informazioni sul copyright .....	97
15.4.2	Formazione e certificazione .....	97
15.4.3	Normativa edilizia nazionale o regionale .....	97
<b>16</b>	<b>Introduzione alle ispezioni termografiche di impianti elettrici .....</b>	<b>99</b>
16.1	Nota importante .....	99
16.2	Informazioni generali .....	99
16.2.1	Introduzione .....	99
16.2.2	Dati generali dell'impianto .....	100
16.2.3	Ispezione .....	101
16.2.4	Classificazione e creazione di report .....	102
16.2.5	Priorità .....	102
16.2.6	Riparazione .....	103
16.2.7	Controllo .....	103
16.3	Tecnica di misurazione per l'ispezione termografica degli impianti elettrici .....	105
16.3.1	Come impostare correttamente l'apparecchiatura .....	105
16.3.2	Misurazione della temperatura .....	105
16.3.3	Misurazione comparativa .....	107
16.3.4	Temperatura di funzionamento normale .....	108
16.3.5	Classificazione dei guasti .....	110
16.4	Creazione di report .....	111
16.5	Tipi diversi di punti caldi negli impianti elettrici .....	113
16.5.1	Riflessi .....	113
16.5.2	Riscaldamento solare .....	113
16.5.3	Riscaldamento per induzione .....	114
16.5.4	Variazioni di carico .....	114
16.5.5	Condizioni di raffreddamento variabili .....	115
16.5.6	Variazioni di resistenza .....	116
16.5.7	Surriscaldamento di un componente causato da un guasto in un altro componente .....	116
16.6	Fattori di disturbo nel corso di ispezioni termografiche di impianti elettrici .....	118
16.6.1	Vento .....	118
16.6.2	Pioggia e neve .....	118
16.6.3	Distanza dall'oggetto .....	119
16.6.4	Dimensioni dell'oggetto .....	120
16.7	Suggerimenti pratici per l'operatore .....	122
16.7.1	Passaggio dal freddo al caldo .....	122
16.7.2	Acquazzoni .....	122
16.7.3	Emissività .....	122
16.7.4	Temperatura apparente riflessa .....	123
16.7.5	Oggetto troppo lontano .....	123
<b>17</b>	<b>Informazioni su FLIR Systems .....</b>	<b>125</b>
17.1	Molto di più di una semplice termocamera a infrarossi .....	126
17.2	Le competenze della società a disposizione del cliente .....	126
17.3	Una società dedicata al supporto dei clienti .....	127
17.4	Alcune foto degli stabilimenti .....	127
<b>18</b>	<b>Glossario .....</b>	<b>129</b>
<b>19</b>	<b>Tecniche di misurazione termografica .....</b>	<b>133</b>
19.1	Introduzione .....	133
19.2	Emissività .....	133
19.2.1	Come stabilire l'emissività di un campione .....	134

---

19.2.1.1	Passaggio 1: determinazione della temperatura apparente riflessa .....	134
19.2.1.2	Passaggio 2: determinazione dell'emissività .....	136
19.3	Temperatura apparente riflessa .....	137
19.4	Distanza .....	137
19.5	Umidità relativa .....	137
19.6	Altri parametri .....	138
<b>20</b>	<b>Storia della tecnologia a infrarossi .....</b>	<b>139</b>
<b>21</b>	<b>Teoria della termografia .....</b>	<b>145</b>
21.1	Introduzione .....	145
21.2	Lo spettro elettromagnetico .....	145
21.3	Radiazione del corpo nero .....	146
21.3.1	La legge di Planck .....	147
21.3.2	La legge di spostamento di Wien .....	149
21.3.3	Legge di Stefan-Boltzmann .....	150
21.3.4	Emettitori diversi dai corpi neri .....	151
21.4	Materiali semitrasparenti agli infrarossi .....	153
<b>22</b>	<b>La formula di misurazione .....</b>	<b>155</b>
<b>23</b>	<b>Tabelle di emissività .....</b>	<b>161</b>
23.1	Bibliografia .....	161
23.2	Nota importante sulle tabelle di emissività .....	161
23.3	Tabelle .....	161

**AVVERTENZA**

- Questa apparecchiatura genera, utilizza e può irradiare energia in radiofrequenza e, se non viene installata e utilizzata in conformità al manuale di istruzioni, può interferire con le comunicazioni radio. Essa è stata collaudata e ritenuta conforme ai limiti relativi ai dispositivi computerizzati di Classe A secondo la Sottoparte J della Parte 15 delle Normative FCC. Questi limiti hanno lo scopo di fornire una protezione ragionevole da interferenze di questo tipo in caso di utilizzo in ambienti commerciali. Se utilizzato in zone residenziali, questo apparato può provocare interferenze. In tal caso, l'utente dovrà adottare, a sue spese, tutte le contromisure adeguate per eliminare l'interferenza.
- (Si applica esclusivamente alle termocamere con puntatore laser) Non fissare il raggio laser. Può irritare gli occhi.
- Si applica solo a termocamere con batteria:
  - Non disassemblare né apportare modifiche alla batteria. Quest'ultima è provvista di dispositivi di sicurezza e protezione che, se danneggiati, possono provocarne il surriscaldamento oppure causare un'esplosione o un incendio.
  - Non sfregare gli occhi, qualora venissero a contatto con il liquido eventualmente fuoriuscito dalla batteria. Sciacquare abbondantemente con acqua e consultare immediatamente un medico, altrimenti si corre il rischio di serie lesioni.
  - Non continuare a tentare di caricare la batteria nel caso in cui la ricarica non avvenga nei tempi previsti. Se si insiste nell'operazione, la batteria può surriscaldarsi, con il rischio di un'esplosione o di un incendio.
  - Per scaricare la batteria, utilizzare esclusivamente il dispositivo appropriato, altrimenti si rischia di compromettere le prestazioni o la durata della batteria. Se non si utilizza il dispositivo appropriato, alla batteria può giungere un flusso di corrente inadeguato che può provocarne il surriscaldamento o addirittura un'esplosione e lesioni alle persone.
- Prima di utilizzare un liquido, leggere attentamente tutte le relative schede con i dati di sicurezza del materiale (MSDS, Material Safety Data Sheets) e le etichette con le avvertenze applicate sui contenitori. I liquidi possono essere pericolosi.

**ATTENZIONE**

- Non puntare la termocamera, con o senza copriobiettivo, verso fonti a intensa emissione di energia, ad esempio apparecchiature che emettono radiazioni laser o il sole. Ciò potrebbe pregiudicare la precisione del rilevamento dei dati da parte della termocamera e danneggiare il rilevatore.
- Non utilizzare la termocamera a una temperatura superiore a +50°C, a meno che non sia indicato diversamente nelle specifiche dei dati tecnici. Le temperature elevate possono danneggiarla.
- (Si applica esclusivamente alle termocamere con puntatore laser) Quando non si utilizza il puntatore laser, proteggerlo con l'apposito copriobiettivo di protezione.
- Si applica solo a termocamere con batteria:
  - Non collegare le batterie direttamente alla presa per l'accendisigari dell'automobile, a meno che non si adotti l'apposito adattatore fornito da FLIR Systems.
  - Non collegare tra loro i terminali positivo e negativo della batteria utilizzando un oggetto metallico, ad esempio un filo elettrico.
  - Non versare acqua dolce o salata sulla batteria ed evitare che la batteria si bagni.

- Non praticare fori sulla batteria utilizzando oggetti di qualunque tipo. Non colpire la batteria con un martello, non calpestarla ed evitare di sottoporla a forti impatti o urti.
  - Non avvicinare la batteria al fuoco né esporla alla luce solare diretta. Quando la batteria si surriscalda, il dispositivo di sicurezza incorporato si attiva e può interrompere il processo di ricarica. In caso di surriscaldamento, il dispositivo di sicurezza può danneggiarsi, pertanto la batteria rischia di surriscaldarsi ulteriormente, danneggiarsi o incendiarsi.
  - Non collocare la batteria sul fuoco, né riscaldarla con fonti di calore.
  - Non lasciare la batteria in prossimità del fuoco, di fonti di calore o in luoghi ad alte temperature.
  - Non effettuare saldature direttamente sulla batteria.
  - Non utilizzare la batteria se, durante il funzionamento, la ricarica o la conservazione, si percepisce un odore insolito, la batteria è calda, cambia colore o forma oppure è in una condizione inconsueta. Se si riscontrano uno o più problemi di questo tipo, contattare la sede di vendita locale.
  - Quando si carica la batteria, utilizzare solo uno dei caricabatteria specificati.
  - Per caricare la batteria, l'intervallo di temperatura previsto è compreso tra  $\pm 0$  e  $+45^{\circ}\text{C}$ . Se la batteria viene caricata a temperature non comprese in questo intervallo, può surriscaldarsi o danneggiarsi oppure possono risultarne pregiudicate le prestazioni o la durata.
  - Per scaricare la batteria, l'intervallo di temperatura previsto è compreso tra  $-15$  e  $+50^{\circ}\text{C}$ . Se si utilizza la batteria a temperature non comprese in questo intervallo, possono risultarne pregiudicate le prestazioni o la durata.
  - Se la batteria è usurata, isolare i terminali con nastro adesivo o materiale analogo prima di procedere allo smaltimento.
  - Non utilizzare solventi o liquidi equivalenti sulla termocamera, i cavi e gli altri componenti. Potrebbero danneggiarsi.
  - Quando si pulisce l'obiettivo a infrarossi, procedere con cautela. L'obiettivo è dotato di un rivestimento antiriflesso.
  - Non eccedere nella pulizia dell'obiettivo a infrarossi. Il rivestimento antiriflesso potrebbe rovinarsi.
-

---

## 2 Nota per l'utente

2

### Convenzioni tipografiche

Nel presente manuale vengono utilizzate le seguenti convenzioni tipografiche:

- **Grassetto leggero** viene utilizzato per i nomi e i comandi dei menu, nonché per le etichette e i pulsanti delle finestre di dialogo.
- *Corsivo* viene utilizzato per informazioni importanti.
- **Monospace** viene utilizzato per gli esempi di codice.
- **MAIUSCOLO** viene utilizzato per i nomi dei tasti e dei pulsanti.

### Forum degli utenti

Nei forum degli utenti è possibile scambiare idee, problemi e soluzioni termografiche con altri operatori di tutto il mondo. Per accedere ai forum, visitare il sito:

<http://www.infraredtraining.com/community/boards/>

### Calibrazione

Questo avviso si applica solo alle termocamere con capacità di misurazione.

Si consiglia di inviare la termocamera per la calibrazione una volta all'anno. Rivolgersi all'ufficio commerciale locale per l'indirizzo a cui inviare la termocamera.

### Precisione

Questo avviso si applica solo alle termocamere con capacità di misurazione.

Per ottenere risultati precisi si consiglia di attendere 5 minuti dopo l'avvio della termocamera prima di misurare la temperatura.

### Smaltimento di materiale elettronico



Come per la maggior parte dei prodotti elettronici, è necessario predisporre lo smaltimento di questa attrezzatura in conformità alle norme esistenti in materia di tutela ambientale e gestione dei rifiuti elettronici.

Per ulteriori informazioni, contattare il rappresentante FLIR Systems.

### Formazione

Per informazioni sui corsi disponibili relativi alla termografia, visitare il sito:

<http://www.infraredtraining.com>

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 3 Assistenza ai clienti

## Info generali

Per ottenere l'assistenza clienti, visitare il sito:

<http://flir.custhelp.com>

## Invio di una domanda

Per sottoporre una domanda al team dell'assistenza clienti è necessario essere un utente registrato. La registrazione online richiede solo pochi minuti e non è obbligatoria invece per cercare domande e risposte esistenti nella knowledge base.

Quando si desidera sottoporre una domanda, tenere a portata di mano le seguenti informazioni:

- Modello di termocamera
- Numero di serie della termocamera
- Protocollo o tipo di collegamento fra la termocamera e il PC (ad esempio, Ethernet, USB™ o FireWire™)
- Sistema operativo installato nel computer
- Versione di Microsoft® Office
- Nome completo, numero di pubblicazione e versione del manuale

## Download

Dal sito dell'assistenza clienti è inoltre possibile scaricare quanto segue:

- Aggiornamenti del firmware per la termocamera
- Aggiornamenti del programma per il software del PC
- Manuale dell'utente
- Esempi di applicazioni
- Pubblicazioni tecniche

## Figura

In questa figura viene illustrata la pagina iniziale del sito dell'assistenza clienti di FLIR Systems:

10776203;ai1



PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

---

# 4      Nota importante sul manuale

## Info generali

---

FLIR Systems pubblica manuali generici relativi a diverse termocamere all'interno di una linea di modelli.

Nel presente manuale potrebbero pertanto essere presenti descrizioni e spiegazioni non applicabili a una termocamera particolare.

---

## NOTA

FLIR Systems si riserva il diritto di interrompere la produzione di alcuni modelli, parti o accessori e di altri elementi o di cambiarne le specifiche in qualunque momento senza alcun preavviso.

---

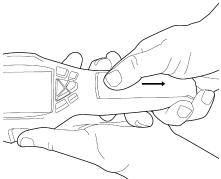
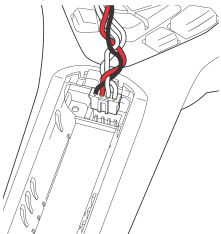
PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 5

## Guida introduttiva

### Procedura

Eeguire le seguenti operazioni iniziali:

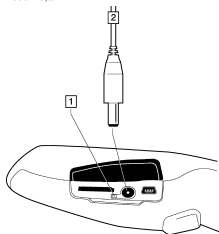
1	Rimuovere la pellicola protettiva dall'LCD.
2	Rimuovere il coperchio del vano batteria. <small>T630174.a1</small> 
3	Collegare il cavo della batteria al connettore interno al vano batteria. <b>Nota:</b> non utilizzare attrezzi metallici o conduttivi per eseguire l'operazione. <small>T630173.a2</small> 
4	Inserire la batteria.
5	Riposizionare il coperchio per chiudere il vano batteria.

- 6** Prima di utilizzare la termocamera per la prima volta, caricare la sua batteria interna per quattro ore (oppure fino a quando la spia di ricarica della batteria non diventa verde).

Caricare la batteria collegando l'alimentatore al connettore di alimentazione sulla termocamera. Fare attenzione a utilizzare la presa CA corretta.

**Nota:** alla prima ricarica della batteria è *necessario accendere e spegnere la termocamera* dopo aver collegato l'alimentatore al connettore di alimentazione sulla termocamera.

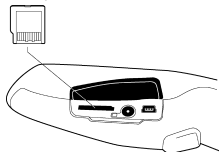
T630175.a1



- 1** Spia di ricarica della batteria  
**2** Cavo alimentatore

- 7** Inserire una scheda di memoria miniSD™ nello slot per schede.

T630176.a1

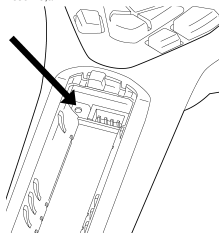


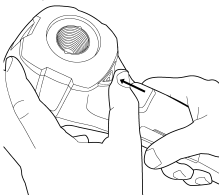
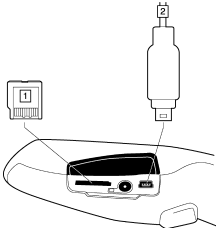
- 8** Premere il pulsante di accensione/spegnimento per accendere la termocamera.

**Nota:** se la termocamera non dovesse avviarsi dopo aver caricato la batteria, premere il pulsante di reset con uno strumento non conduttivo. Il pulsante di reset si trova in prossimità del connettore, all'interno dell'alloggiamento della batteria. Premere di nuovo il pulsante di accensione/spegnimento.

Pulsante di reset:

T630179.a1



9	<p>Aprire il copriobiettivo premendo sull'apposita leva.</p> <p>T630177.a1</p> 
10	<p>Puntare la termocamera verso il soggetto desiderato.</p>
11	<p>Premere il pulsante <b>Salva</b> per salvare l'immagine.</p>
12	<p>Per spostare l'immagine in un computer, eseguire una delle operazioni seguenti:</p> <p>T630178.a1</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>(Fig. 1 sopra)</b> Rimuovere la scheda di memoria miniSD™ e inserirla in un lettore di schede collegato a un computer. L'adattatore per la scheda miniSD™ è fornito con la termocamera.</li> <li>▪ <b>(Fig. 2 sopra)</b> Collegare un computer alla termocamera mediante un cavo USB™ Mini-B.</li> </ul>
13	<p>In Windows® Explorer (Esplora Risorse), trascinare l'immagine dalla scheda o dalla termocamera per spostarla.</p>

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

---

# 6 Elenco dei materiali

---

## Contenuto

- Batteria
  - Cinghia per il trasporto a mano
  - Termocamera a infrarossi
  - Scheda di memoria miniSD™, incluso adattatore
  - Alimentatore, incluse diverse prese CA
  - Guida introduttiva stampata
  - CD-ROM ThermaCAM™ QuickReport
  - Cavo USB™ con connettore USB™ Mini-B
  - CD-ROM User Documentation
- 

## NOTA

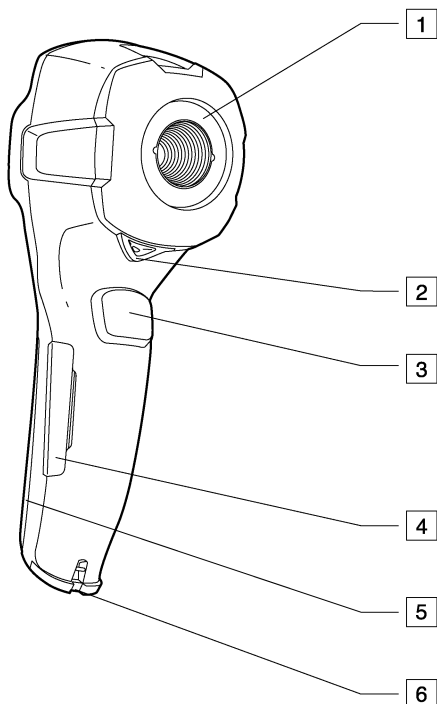
- Se qualche elemento dovesse risultare danneggiato o mancante, rivolgersi alla sede di vendita locale. È possibile trovare gli indirizzi e i numeri di telefono delle sedi di vendita dei diversi paesi sulla retrocopertina di questo manuale.
  - FLIR Systems si riserva il diritto di interrompere la produzione di alcuni modelli, parti o accessori e di altri elementi o di cambiarne le specifiche in qualunque momento senza alcun preavviso.
-

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 7 Componenti della termocamera

Figura

10780903.a1



7

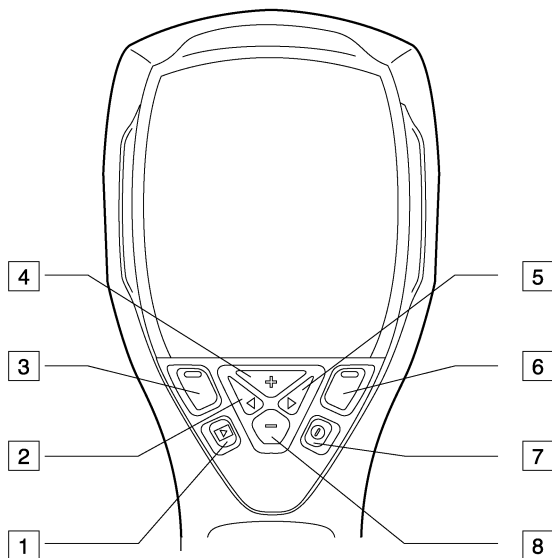
## Descrizione

In questa tabella viene fornita una spiegazione della figura sopra riportata:

1	Obiettivo a infrarossi
2	Fare leva per aprire e chiudere il copriobiettivo
3	Pulsante per salvare le immagini
4	Coperchio dei connettori e dello slot per la scheda di memoria miniSD™
5	Coperchio per il vano batteria
6	Punto di aggancio per la cinghia per il trasporto a mano

Figura

10781003.a1



7

## Descrizione

In questa tabella viene fornita una spiegazione della figura sopra riportata:

1	<p><b>Pulsante Archivio</b></p> <p>Funzione: premere per aprire l'archivio delle immagini.</p>
2	<p><b>Pulsante freccia a sinistra (sul pulsante di navigazione)</b></p> <p>Funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere per scorrere verso sinistra menu, sottomenu e finestre di dialogo</li> <li>■ Premere per spostarsi nell'archivio delle immagini</li> </ul>
3	<p><b>Pulsante di selezione sinistro.</b> La funzione di questo pulsante varia a seconda del contesto e la funzione corrente è visualizzata sopra il pulsante sullo schermo.</p>
4	<p><b>Pulsante + (sul pulsante di navigazione)</b></p> <p>Funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere per scorrere verso l'alto menu, sottomenu e finestre di dialogo.</li> <li>■ Premere per visualizzare l'archivio delle immagini (dopo aver premuto il pulsante <b>Archivio</b>).</li> <li>■ Premere per aumentare/modificare il valore.</li> </ul>

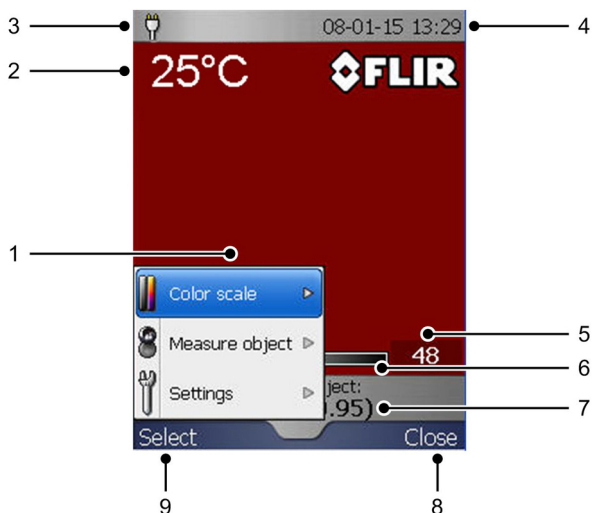
5	<p>Pulsante freccia a destra (sul pulsante di navigazione)</p> <p>Funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Premere per scorrere verso destra menu, sottomenu e finestre di dialogo.</li><li>■ Premere per spostarsi nell'archivio delle immagini.</li></ul>
6	<p>Pulsante di selezione destro. La funzione di questo pulsante varia a seconda del contesto e la funzione corrente è visualizzata sopra il pulsante sullo schermo.</p>
7	<p>Pulsante <b>On/Off</b> di accensione/spengimento</p> <p>Funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Premere per accendere la termocamera.</li><li>■ Premere e tenere premuto più di un secondo per spegnere la termocamera.</li></ul>
8	<p>Pulsante – (sul pulsante di navigazione)</p> <p>Funzione:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Premere per scorrere verso il basso menu, sottomenu e finestre di dialogo.</li><li>■ Premere per diminuire/modificare il valore.</li></ul>

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 8 Elementi del display

Figura

10781203\_a1



Descrizione

In questa tabella viene fornita una spiegazione della figura sopra riportata:

1	Sistema di menu	
2	Risultato di misurazione	
3	Indicatore di alimentazione	
	<b>Icona</b>	<b>Significato</b>
		Uno dei tipi seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>La termocamera è alimentata dalla batteria.</li> <li>La batteria è sotto carica (indicato dall'animazione della batteria che si riempie).</li> </ul>
		La batteria è completamente carica e la termocamera viene alimentata tramite il cavo di alimentazione elettrica.
4	Data e ora	

5	Valore limite per la scala della temperatura
6	Scala di temperatura
7	Valore di emissività o proprietà dei materiali correntemente impostati
8	Funzione corrente del pulsante di selezione destro
9	Funzione corrente del pulsante di selezione sinistro

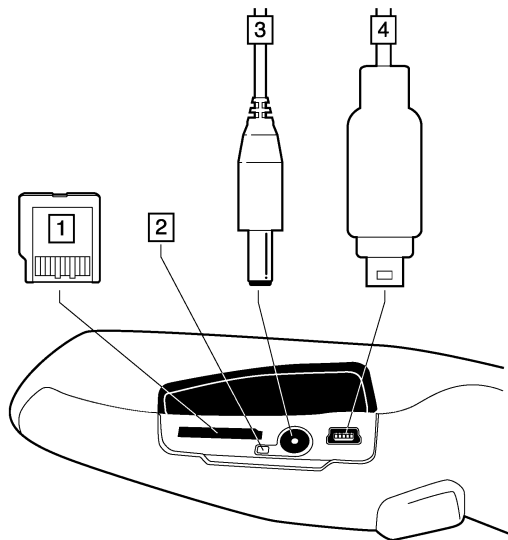
---

---

# 9 Connettori e supporti di memorizzazione

Figura

10780803.a1



## Descrizione

In questa tabella viene fornita una spiegazione della figura sopra riportata:

1	<p>Scheda di memoria miniSD™</p> <p>Si consiglia di non memorizzare oltre 5000 immagini nella scheda di memoria miniSD™.</p> <p>Sebbene una scheda da 256 MB possa contenere più di 5000 immagini, la memorizzazione di un numero superiore a questo rallenta enormemente la gestione dei file nella scheda miniSD™.</p> <p><b>Nota:</b> non esiste limite massimo alla dimensione di memoria della scheda miniSD™.</p>
2	<p>Spia di ricarica della batteria:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>■ Nessuna luce: l'alimentazione elettrica non è collegata.</li><li>■ Luce arancione: la batteria è sotto carica.</li><li>■ Luce verde: la carica della batteria è completata.</li></ul>
3	<p>Cavo alimentatore</p>

4	Cavo USB con connettore USB Mini-B
---	------------------------------------

---

---

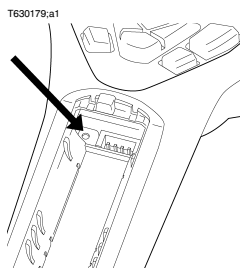
# 10 Utilizzo della termocamera

## 10.1 Ricarica della batteria

### NOTA

- Prima di utilizzare la termocamera per la prima volta, caricare la sua batteria interna per quattro ore (oppure fino a quando la spia di ricarica della batteria non diventa verde).
- Alla prima ricarica della batteria è *necessario accendere e spegnere la termocamera* dopo aver collegato l'alimentatore al connettore di alimentazione sulla termocamera.
- Se la termocamera non dovesse avviarsi dopo aver caricato la batteria, premere il pulsante di reset con uno strumento non conduttivo. Il pulsante di reset si trova in prossimità del connettore, all'interno dell'alloggiamento della batteria. Premere di nuovo il pulsante di **accensione/spegnimento**.

Pulsante di reset:



- Non sostituire la batteria troppo spesso. Provvedere solo quando risulta esausta.

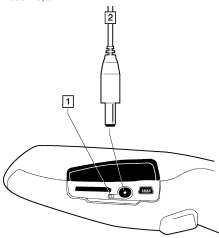
### Informazioni sulla spia di ricarica della batteria

La spia di ricarica è un LED posto accanto al connettore di alimentazione e visualizza i seguenti segnali:

- Nessuna luce: l'alimentazione elettrica non è collegata.
- Luce arancione: la batteria è sotto carica.
- Luce verde: la carica della batteria è completata.

### Procedura

Per caricare la batteria, attenersi alla procedura seguente:

<p><b>1</b></p>	<p>Collegare l'alimentazione al connettore apposito della termocamera.</p> <p>T630175:aa1</p>  <p><b>1</b> Spia di ricarica della batteria <b>2</b> Cavo alimentatore</p>
<p><b>2</b></p>	<p>Collegare la spina di alimentazione a una presa di corrente. Assicurarsi di utilizzare la presa CA corretta.</p>
<p><b>3</b></p>	<p>Quando la spia di ricarica della batteria diventa verde, staccare il cavo di alimentazione.</p>

## 10.2 *Cambio della tavolozza dei colori*

### Info generali

È possibile modificare la tavolozza dei colori utilizzata dalla termocamera per visualizzare le differenti temperature. Con una tavolozza diversa è possibile semplificare l'analisi di un'immagine.

### Procedura

Per cambiare la tavolozza dei colori, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Menu</b> ).
2	Utilizzare il pulsante di spostamento per andare a <b>Tavolozza colori</b> .
3	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Tavolozza colori</b> .
4	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare la nuova tavolozza dei colori.
5	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ) per confermare la scelta e uscire dal sottomenu.

## 10.3 Salvataggio di un'immagine

---

Info generali	Nella scheda di memoria miniSD™ è possibile salvare più immagini.
Capacità di memorizzazione delle immagini	<p>Si consiglia di non memorizzare oltre 5000 immagini nella scheda di memoria miniSD™.</p> <p>Sebbene una scheda da 256 MB possa contenere più di 5000 immagini, la memorizzazione di un numero superiore a questo rallenta enormemente la gestione dei file nella scheda miniSD™.</p> <p><b>Nota:</b> non esiste limite massimo alla dimensione di memoria della scheda miniSD™.</p>
Convenzione di denominazione	La convenzione di denominazione per le immagini è IR_XXXX.jpg, dove XXXX è un contatore univoco. Quando si seleziona <b>Ripristina</b> , il contatore della termocamera viene reimpostato e al nuovo file viene assegnato come nome il primo numero disponibile più alto.
Procedura	Per salvare l'immagine, premere il pulsante <b>Salva</b> .

---

## 10.4 *Richiamo di un'immagine*

### Info generali

Quando si salva un'immagine, quest'ultima viene memorizzata nella scheda di memoria rimovibile miniSD™. Per visualizzare di nuovo l'immagine, è possibile richiamarla dalla scheda.

### Procedura

Per richiamare un'immagine, attenersi alla procedura seguente:

<b>1</b>	Premere il pulsante <b>Archivio</b> .
<b>2</b>	<p>Effettuare una delle seguenti operazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere il pulsante di spostamento sinistra/destra per selezionare l'immagine da visualizzare.</li> <li>■ Premere il pulsante +, utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare l'immagine da visualizzare, quindi premere il pulsante di selezione destro (<b>Apri</b>).</li> </ul>
<b>3</b>	<p>Per tornare in modalità dinamica, eseguire una delle operazioni seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere il pulsante <b>Archivio</b>.</li> <li>■ Premere il pulsante di selezione destro (<b>Chiudi</b>).</li> </ul>

## 10.5 *Apertura dell'archivio delle immagini*

---

### Info generali

L'archivio delle immagini è una raccolta di miniature di tutte le immagini presenti nella scheda di memoria miniSD™.

---

### Procedura

Per aprire l'archivio delle immagini, attenersi alla procedura seguente:

<b>1</b>	Premere il pulsante <b>Archivio</b> .
<b>2</b>	Premere il pulsante <b>+</b> sul pulsante di navigazione. Verrà visualizzato l'archivio delle immagini in cui è possibile spostarsi utilizzando il pulsante di spostamento.
<b>3</b>	Per aprire un'immagine selezionata, premere il pulsante di selezione destro ( <b>Apri</b> ).

---

## 10.6 Eliminazione di un'immagine

### Info generali

È possibile eliminare una o più immagini dalla scheda di memoria miniSD™.

### Alternativa 1

Per eliminare un'immagine, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante <b>Archivio</b> .
2	Premere il pulsante <b>+</b> . Verrà visualizzato l'archivio delle immagini.
3	Selezionare l'immagine che si desidera eliminare utilizzando il pulsante di spostamento.
4	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Opzioni</b> ).
5	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare <b>Elimina immagine</b> .
6	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Selezione</b> ).
7	Premere il pulsante di selezione destro per confermare ( <b>Elimina</b> ).
8	Per tornare in modalità dinamica, eseguire una delle operazioni seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere il pulsante <b>Archivio</b>.</li> <li>■ Premere il pulsante di selezione destro (<b>Chiudi</b>).</li> </ul>

### Alternativa 2

Per eliminare un'immagine, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante <b>Archivio</b> .
2	Selezionare l'immagine che si desidera eliminare utilizzando il pulsante di spostamento.
3	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Elimina</b> ).
4	Premere il pulsante di selezione destro per confermare ( <b>Elimina</b> ).
5	Per tornare in modalità dinamica, eseguire una delle operazioni seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Premere il pulsante <b>Archivio</b>.</li> <li>■ Premere il pulsante di selezione destro (<b>Chiudi</b>).</li> </ul>

## 10.7 *Eliminazione di tutte le immagini*

---

### Info generali

È possibile eliminare tutte le immagini dalla scheda di memoria miniSD™.

---

### Procedura

Per eliminare tutte le immagini, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante <b>Archivio</b> .
2	Premere il pulsante <b>+</b> . Verrà visualizzato l'archivio delle immagini.
3	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Opzioni</b> ).
4	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare <b>Elimina tutte le immagini</b> .
5	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ).
6	Premere il pulsante di selezione destro per confermare ( <b>Elimina</b> ).

---

## 10.8 Modifica delle impostazioni

### Info generali

È possibile modificare molte delle impostazioni della termocamera, tra cui:

- Spegnimento automatico
- Intensità display
- Lingua
- Unità
- Formato ora
- Imposta ora
- Data e ora
- Firmware (per scaricare gli aggiornamenti per la termocamera. Per ulteriori informazioni, visitare il sito <http://flir.custhelp.com>).
- Ripristina

### Procedura


Per modificare un'impostazione, attenersi alla procedura seguente:

<b>1</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Menu</b> ).
<b>2</b>	Utilizzare il pulsante di spostamento per andare a <b>Impostazioni</b> .
<b>3</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Impostazioni</b> .
<b>4</b>	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare l'impostazione da modificare.
<b>5</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ), quindi utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare la nuova impostazione.
<b>6</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ) per confermare la scelta e uscire dal sottomenu, oppure premere il pulsante di selezione destro ( <b>Chiudi</b> ) per uscire dal sottomenu.

## 10.9 Modifica della modalità immagine

### Info generali

La termocamera può funzionare in due diverse modalità immagine:

Modalità immagine	Icona	Descrizione
Automatico	[Nessuno]	In modalità <b>Automatico</b> , la termocamera viene continuamente regolata automaticamente per ottenere immagini con i migliori valori di contrasto e luminosità.
Bloccata		In modalità <b>Bloccata</b> , la termocamera blocca il campo di temperatura e il livello della temperatura.

### Quando utilizzare la modalità Bloccata


Una situazione tipica in cui utilizzare la modalità **Bloccata** è quando si osservano anomalie di temperatura su due soggetti di tipo o costruzione simile.

Ad esempio, se si analizzano due cavi, dove si sospetta che uno si surriscaldi, la modalità **Bloccata** permette di evidenziare in modo inequivocabile se c'è surriscaldamento di uno dei due. La maggiore temperatura di tale cavo produrrà un colore *più chiaro* per la temperatura *più alta*.

Se al contrario si utilizza la modalità **Automatico**, i colori di entrambi i cavi saranno uguali.

### Procedura

Per passare tra le modalità **Automatico** e **Bloccata**, premere il pulsante di selezione

destro (**Auto/Blocc**). Un'icona a forma di lucchetto  indica la modalità Bloccata.

## 10.10 Impostazione delle proprietà della superficie

### Info generali

Per misurare le temperature con precisione, la termocamera deve conoscere il tipo di superficie da analizzare.

Il modo più semplice per fornire questa informazione è quello di impostare le proprietà della superficie nel menu **Misurazione**. È possibile scegliere tra le seguenti proprietà:

- Opaco
- Semi-opaco
- Semi-lucido
- Lucido

### Procedura

Per impostare la proprietà della superficie, attenersi alla procedura seguente:

<b>1</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Menu</b> ).
<b>2</b>	Utilizzare il pulsante di spostamento per andare a <b>Misurazione</b> .
<b>3</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Misurazione</b> .
<b>4</b>	Nel menu <b>Misurazione</b> , utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare la proprietà desiderata.
<b>5</b>	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ) per confermare la scelta e uscire dal menu.

### VEDERE ANCHE

Per misurazioni di precisione superiore, vedere le sezioni seguenti:

- Sezione 10.11 – Modifica dell'emissività a pagina 34
- Sezione 10.12 – Modifica della temperatura apparente riflessa a pagina 35

## 10.11 Modifica dell'emissività

### Info generali

Per misurazioni estremamente precise, può essere necessario impostare l'emissività, invece di selezionare la proprietà della superficie. È inoltre necessario capire come l'emissività e la riflettività influenzano le misurazioni a fronte di una semplice selezione di proprietà della superficie.

L'emissività è una proprietà che indica la quantità di radiazione emessa da un oggetto rispetto a quella riflessa. Un valore inferiore indica che una porzione maggiore viene riflessa, mentre un valore superiore indica che la quantità riflessa è inferiore.

L'acciaio inossidabile lucido, ad esempio, ha un'emissività di 0,14 mentre un pavimento in PVC strutturato ha un valore tipico di 0,93.

### Procedura

Per impostare l'emissività, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Menu</b> ).
2	Utilizzare il pulsante di spostamento per andare a <b>Misurazione</b> .
3	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Selezione</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Misurazione</b> .
4	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare <b>Avanzata</b> .
5	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Selezione</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Avanzata</b> .
6	Utilizzare il pulsante di spostamento per eseguire una delle seguenti operazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Impostare un valore per l'emissività</li> <li>▪ Selezionare un materiale nell'elenco dei materiali</li> </ul>
7	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Selezione</b> ) per confermare la scelta e uscire dal menu.

### VEDERE ANCHE

Per ulteriori informazioni sull'emissività, vedere la sezione 19 – Tecniche di misurazione termografica a pagina 133.

## 10.12 *Modifica della temperatura apparente riflessa*

### Info generali

Questo parametro viene utilizzato per compensare la radiazione riflessa dall'oggetto. Se l'emissività è bassa e la temperatura dell'oggetto abbastanza diversa da quella riflessa, risulta particolarmente importante impostare e compensare correttamente la temperatura apparente riflessa.

### Procedura

Per impostare la temperatura apparente riflessa, attenersi alla procedura seguente:

1	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Menu</b> ).
2	Utilizzare il pulsante di spostamento per andare a <b>Misurazione</b> .
3	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Misurazione</b> .
4	Utilizzare il pulsante di spostamento per selezionare <b>Avanzata</b> .
5	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ). Verrà visualizzato il sottomenu <b>Avanzata</b> .
6	Utilizzare il pulsante di spostamento per impostare la temperatura apparente riflessa.
7	Premere il pulsante di selezione sinistro ( <b>Seleziona</b> ) per confermare la scelta e uscire dal menu.

### VEDERE ANCHE

Per ulteriori informazioni sulla temperatura apparente riflessa, vedere la sezione 19 – Tecniche di misurazione termografica a pagina 133.

## 10.13 *Reset della termocamera*

### Info generali

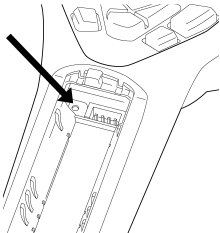
Se è necessario ripristinare i valori iniziali della termocamera, utilizzare il pulsante di reset all'interno del vano batteria.

### NOTA

Per questa operazione, non utilizzare attrezzi metallici o conduttivi.

### Procedura

Attenersi alla procedura descritta per ripristinare i valori iniziali della termocamera:

<b>1</b>	Aprire il coperchio del vano batteria.
<b>2</b>	Nella figura seguente è illustrata la posizione del pulsante di reset.  <small>T630179:ia1</small> 
<b>3</b>	Utilizzare un attrezzo non conduttivo per premere il pulsante di reset. La termocamera verrà ripristinata sui suoi valori iniziali.

---

# 11 Pulizia della termocamera

## 11.1 *Rivestimento esterno, cavi e altri componenti della termocamera*

---

**Liquidi** Utilizzare uno dei liquidi seguenti:

- Acqua calda
  - Una soluzione detergente non aggressiva
- 

**Dotazione necessaria** Un panno morbido

---

**Procedura** Attenersi alla procedura seguente:

1	Immergere il panno nel liquido.
2	Strizzare il panno per rimuovere il liquido in eccesso.
3	Con il panno, pulire la parte desiderata.

---

**ATTENZIONE** Non utilizzare solventi o liquidi equivalenti sulla termocamera, i cavi e gli altri componenti. Potrebbero danneggiarsi.

---

## 11.2 *Obiettivo a infrarossi*

---

**Liquidi** Utilizzare uno dei liquidi seguenti:

- 96% di alcol isopropilico.
- Un liquido per la pulizia dell'obiettivo comunemente in commercio con oltre il 30% di alcol isopropilico.

---

**Dotazione necessaria** Batuffolo di cotone

---

**Procedura** Attenersi alla procedura seguente:

<b>1</b>	Immergere un batuffolo di cotone nel liquido.
<b>2</b>	Strizzare il batuffolo di cotone per rimuovere il liquido in eccesso.
<b>3</b>	Pulire l'obiettivo solo una volta e gettare il batuffolo di cotone.

---

**AVVERTENZA** Prima di utilizzare un liquido, leggere attentamente tutte le relative schede con i dati di sicurezza del materiale (MSDS, Material Safety Data Sheets) e le etichette con le avvertenze applicate sui contenitori. I liquidi possono essere pericolosi.

---

**ATTENZIONE**

- Quando si pulisce l'obiettivo a infrarossi, procedere con cautela. L'obiettivo è dotato di un rivestimento antiriflesso.
- Non eccedere nella pulizia dell'obiettivo a infrarossi. Il rivestimento antiriflesso potrebbe rovinarsi.

---

# 12

## Dati tecnici

### Dichiarazione di non responsabilità

FLIR Systems si riserva il diritto di interrompere la produzione di alcuni modelli, parti o accessori e di altri elementi o di cambiarne le specifiche in qualunque momento senza alcun preavviso.

### Imaging e dati ottici

Campo visivo (FOV)	17° × 17°
Limite di messa a fuoco da vicino	0,6 m
Risoluzione spaziale (IFOV)	3,71 mrad
Sensibilità termica/NETD	< 0,1°C
Frequenza immagini	9 Hz
Messa a fuoco	Senza messa a fuoco

### Dati del rilevatore

Tipo rilevatore	FPA (Focal Plane Array), microbolometro senza raffreddamento
Intervallo spettrale	7,5–13 µm
Risoluzione	80 × 80 pixel

### Presentazione dell'immagine

Display	LCD a colori da 2,8 pollici
---------	-----------------------------

### Misurazione

Intervallo di temperatura dell'oggetto	da 0°C a +250°C
Precisione	±2°C o ±2% della lettura, per temperatura ambiente da 10° a 35°C
Correzione dell'emissività	Variabile da 0,1 a 1,0

### Memorizzazione di immagini

Tipo di memorizzazione delle immagini	Scheda miniSD™
Formati di file	JPEG standard, 14 bit inclusi dati di misurazione
Compatibilità	Compatibile ThermaCAM Reporter 8 e ThermaCAM QuickReport

Interfacce di  
comunicazione  
dati

Interfacce	USB mini-B: trasferimento dati con PC
------------	---------------------------------------

**Sistema di alimentazione**

Tipo di batteria	Batteria Li/Ion ricaricabile
Tensione batteria	3,6 V
Autonomia della batteria	Circa 5 ore a una temperatura ambiente di +25 °C e con un utilizzo normale
Sistema di ricarica	La batteria viene ricaricata all'interno della termocamera
Funzione di risparmio energetico	Spegnimento automatico
Funzionamento CA	Adattatore CA, 90–260 VCA in ingresso. Uscita 5 V alla termocamera

**Dati ambientali**

Intervallo della temperatura di funzionamento	Da 0°C a +50°C
Intervallo della temperatura di immagazzinamento	Tra -40°C e +70°C
Umidità (funzionamento e immagazzinamento)	IEC 60068-2-30/24 Umidità relativa 95%
EMC	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ EN 61000-6-2:2005 (immunità)</li> <li>■ EN 61000-6-3:2007 (emissioni)</li> <li>■ FCC 47 CFR Parte 15 Classe B (emissione)</li> </ul>
Isolamento	Rivestimento esterno e obiettivo: IP 43 (IEC 60529)
Urto	25 g (IEC 60068-2-29)
Vibrazioni	2 g (IEC 60068-2-6)

**Dati fisici**

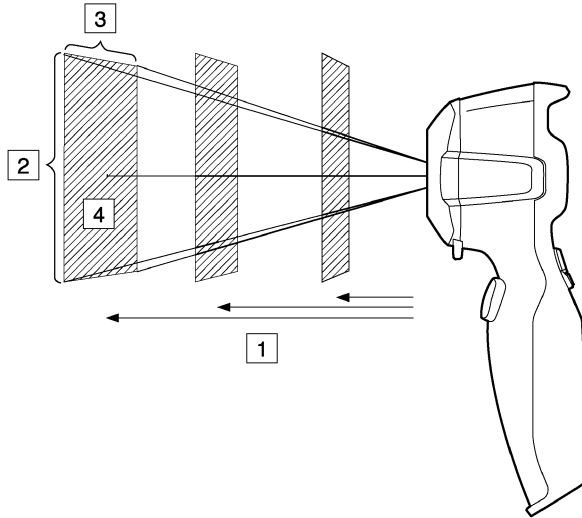
Peso della termocamera, con batteria	0,34 kg (0,75 lb)
Dimensioni della termocamera (L × P × A)	223 × 79 × 83 mm (8,8 × 3,1 × 3,3 pollici)
Materiali	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Policarbonato + acrilonitrile butadiene stirene (PC-ABS)</li> <li>■ Magnesio con Thixomold</li> <li>■ Elastomero termoplastico (TPE)</li> </ul>

**Certificazioni**

Certificazione	UL, CSA, CE, PSE e CCC
----------------	------------------------

Campo visivo e distanza

10780503.a1



**Figura 12.1** Relazione tra campo visivo e distanza. **1:** distanza dal soggetto; **2:** VFOV = campo visivo verticale; **3:** HFOV = campo visivo orizzontale; **4:** IFOV = campo visivo istantaneo (dimensioni di un elemento del rilevatore).

In questa tabella sono riportati esempi del campo visivo per distanze dai soggetti diverse:

10781103.a1

Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 80 x 80 pixels									
Field of view in degrees: 16.8									
<b>D ---&gt;</b>	<b>0.50</b>	<b>1.00</b>	<b>2.00</b>	<b>5.00</b>	<b>10.00</b>	<b>25.00</b>	<b>50.00</b>	<b>100.00</b>	<b>m</b>
HFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	<b>m</b>
VFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	<b>m</b>
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	<b>mm</b>
<b>D ---&gt;</b>	<b>1.64</b>	<b>3.28</b>	<b>6.56</b>	<b>16.39</b>	<b>32.79</b>	<b>81.97</b>	<b>163.93</b>	<b>327.87</b>	<b>ft.</b>
HFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	<b>ft.</b>
VFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	<b>ft.</b>
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	<b>in.</b>
<b>Legend:</b>									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

---

# 13

# Dimensioni

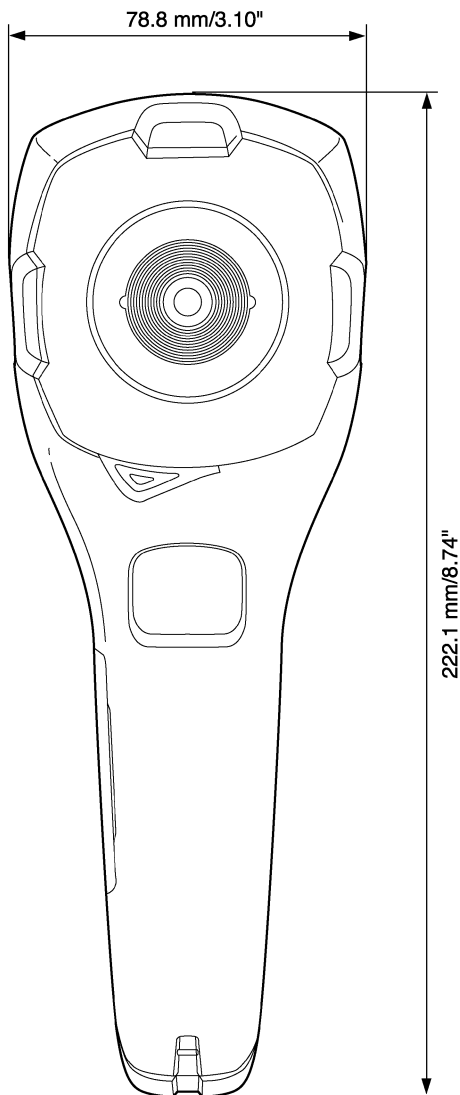
## 13.1

## *Termocamera (anteriore)*

---

Figura

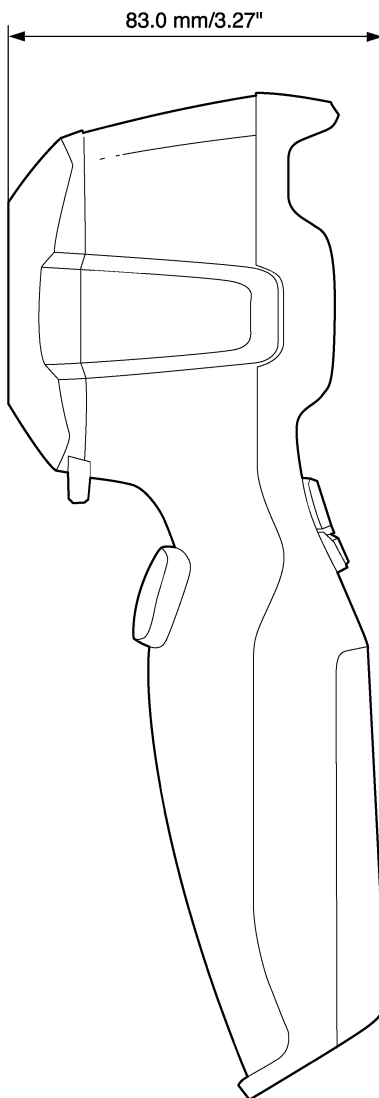
10780603.a1



## 13.2 Termocamera (laterale)

Figura

10780703.a1



---

# 14 Esempi di applicazioni

## 14.1 *Infiltrazioni di acqua e umidità*

### Info generali

---

È spesso possibile rilevare infiltrazioni di acqua e umidità nelle abitazioni mediante una termocamera a infrarossi, in quanto l'area interessata presenta una proprietà di conduzione del calore diversa, nonché una capacità di immagazzinare calore diversa rispetto ai materiali circostanti.

---

### NOTA

La possibilità di rilevare infiltrazioni di acqua e umidità mediante un'immagine termica dipende da diversi fattori.

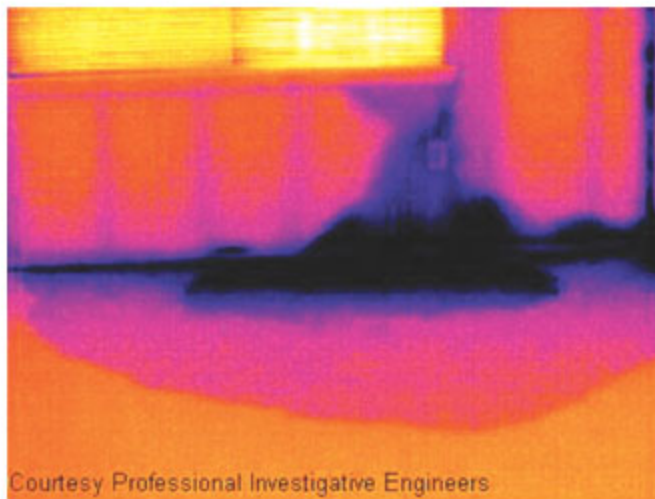
Il riscaldamento e il raffreddamento delle aree interessate avviene ad esempio con velocità diverse a seconda del materiale e dell'ora del giorno. È pertanto importante utilizzare anche altri metodi per rilevare le infiltrazioni di acqua e umidità.

---

### Figura

Nell'immagine seguente viene illustrata un'infiltrazione di acqua estesa su una parete esterna in cui l'acqua è penetrata oltre la facciata esterna a causa di un davanzale non installato correttamente.

10739503.a1



## 14.2 Contatto difettoso in una presa

---

### Info generali

A seconda del tipo di presa, un cavo collegato in modo improprio può determinare un aumento locale della temperatura. Tale aumento di temperatura è dovuto alla riduzione dell'area di contatto tra il punto di collegamento del cavo e la presa. Questo problema può causare incendi, a causa della sovratemperatura.

---

### NOTA

La struttura di una presa può risultare molto diversa a seconda del produttore. Diversi tipi di problemi possono pertanto produrre immagini termiche dall'aspetto analogo.

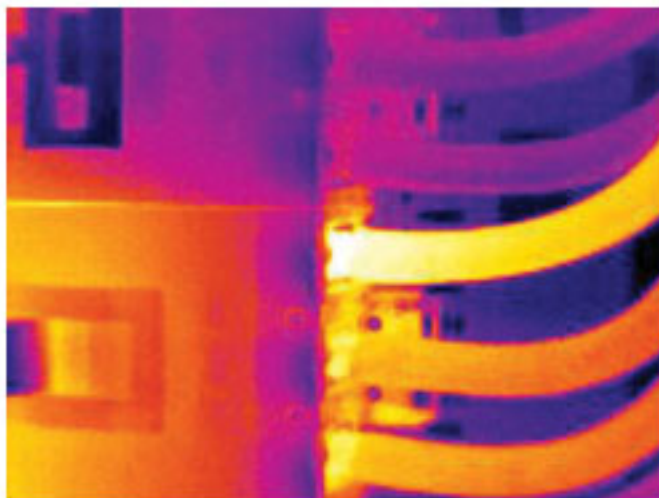
L'aumento locale della temperatura può inoltre essere determinato dal contatto improprio tra cavo e presa o da una differenza di carico.

---

### Figura

Nell'immagine seguente viene illustrato il collegamento difettoso di un cavo a una presa che ha determinato un aumento locale della temperatura.

10739603.a1



## 14.3 Presa ossidata

### Info generali

A seconda del tipo di presa e delle condizioni ambientali in cui si trova, è possibile che si verifichi un'ossidazione delle superfici di contatto. Questo problema può determinare un aumento locale della resistenza quando la presa viene caricata, il che si riflette nell'immagine termica sotto forma di aumento della temperatura.

### NOTA

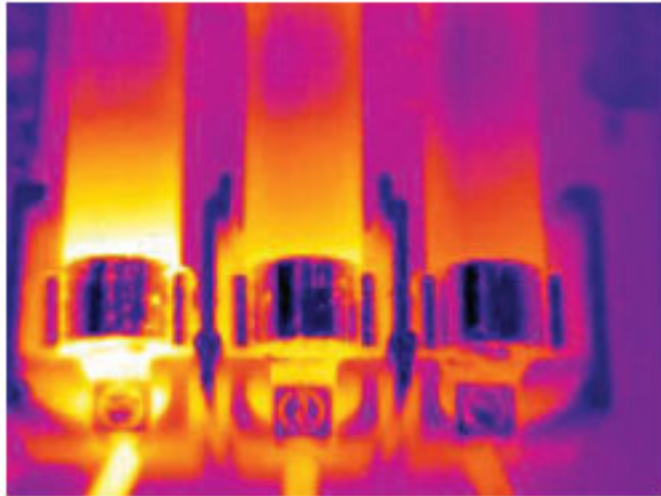
La struttura di una presa può risultare molto diversa a seconda del produttore. Diversi tipi di problemi possono pertanto produrre immagini termiche dall'aspetto analogo.

L'aumento locale della temperatura può inoltre essere determinato dal contatto improprio tra cavo e presa o da una differenza di carico.

### Figura

Nell'immagine seguente viene illustrata una serie di fusibili, di cui uno presenta un aumento della temperatura sulle superfici di contatto con il relativo contenitore. A causa del materiale metallico con cui è fatta la zona di attacco dei fusibili, l'aumento di temperatura non è visibile. Al contrario risulta visibile sul materiale di ceramica di cui è costituito il corpo del fusibile.

10739703.a1



## 14.4 Carenze d'isolamento

---

### Info generali

I problemi di isolamento derivano dalla perdita di volume del materiale isolante nel tempo, il quale non è quindi più in grado di riempire la cavità nell'intelaiatura della parete.

Con una termocamera a infrarossi è possibile rilevare i problemi di isolamento poiché presentano una proprietà di conduzione del calore diversa rispetto al materiale isolante installato correttamente, nonché individuare l'area in cui l'aria penetra all'interno dell'intelaiatura dell'edificio.

---

### NOTA

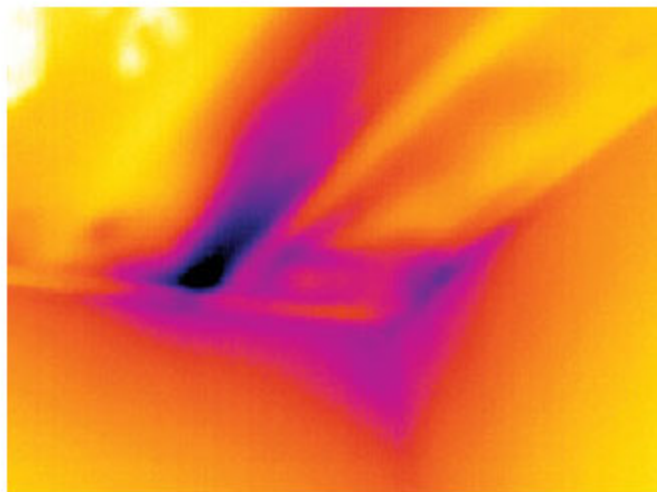
Quando si controlla un edificio, la differenza di temperatura tra interno ed esterno dovrebbe essere di almeno 10° C. Montanti, tubature dell'acqua, colonne in calcestruzzo e componenti simili possono apparire simili a problemi di isolamento in un'immagine termica. Possono inoltre verificarsi altre differenze di minore entità.

---

### Figura

Nell'immagine seguente viene illustrato un problema di isolamento nell'intelaiatura del tetto. A causa dell'assenza di isolamento, l'aria è penetrata nella struttura del tetto il cui aspetto risulta pertanto diverso nell'immagine termica.

10739803\_a1



## 14.5 Corrente d'aria

### Info generali

Infiltrazioni d'aria possono trovarsi in corrispondenza di battiscopa, porte, infissi e controsoffitti. Questo tipo di corrente d'aria risulta spesso rilevabile con una termocamera a infrarossi e viene indicata come un flusso di aria più fredda che lambisce la superficie circostante.

### NOTA

Quando si cercano le correnti d'aria in un'abitazione, è inoltre possibile che sia presente una pressione subatmosferica. Chiudere tutte le porte, le finestre e i condotti di ventilazione e accendere la cappa della cucina per un certo periodo di tempo prima di acquisire le immagini termiche.

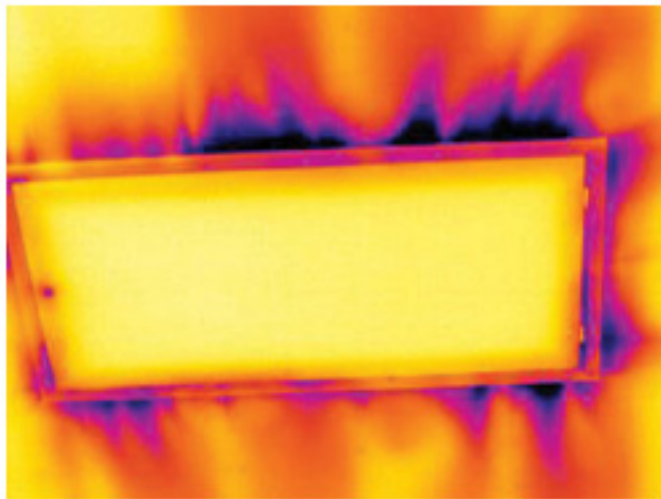
In un'immagine termica di una corrente d'aria viene indicato da un modello di flusso tipico, illustrato chiaramente nella figura seguente.

Tenere inoltre presente che le correnti d'aria possono essere nascoste dal calore emesso dal sistema di riscaldamento.

### Figura

Nell'immagine viene illustrato un portello del controsoffitto la cui installazione non corretta determina una forte corrente d'aria.

10739903.a1



PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 15 Introduzione alla termografia degli edifici

## 15.1 *Nota importante*

A seconda della particolare configurazione della termocamera di cui si dispone, è possibile che non siano supportate tutte le funzioni e le caratteristiche descritte in questa sezione.

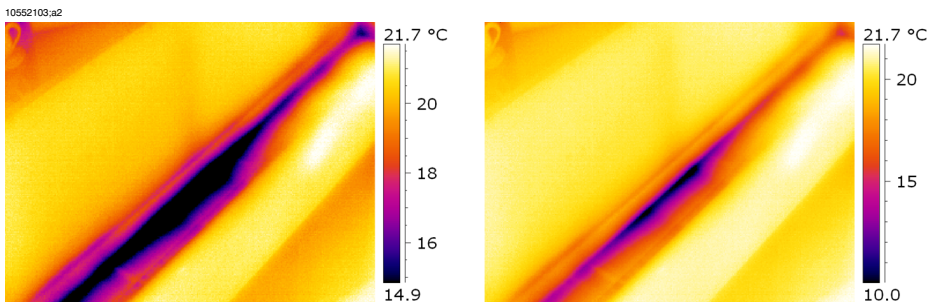
## 15.2 *Tipiche ispezioni sul campo*

### 15.2.1 **Linee guida**

Come si indicherà nelle sezioni successive, vi sono diverse linee guida generali che l'utente deve osservare nell'eseguire un'ispezione termografica di un edificio. In questa sezione è offerto un riepilogo di tali linee guida.

#### 15.2.1.1 *Linee guida generali*

- L'emissività della maggior parte dei materiali da costruzione è compresa tra 0,85 e 0,95. Per iniziare, può perciò andare bene impostare nella termocamera un valore di emissività pari a 0,90.
- Non basarsi mai unicamente su un'ispezione a infrarossi per prendere decisioni su ulteriori azioni. Verificare sempre i sospetti e i risultati utilizzando altri metodi, come disegni tecnici dell'edificio, misuratori di umidità, registratori di dati di umidità e temperatura, test del gas tracciante e così via.
- Cambiare il livello e il campo per regolare termicamente l'immagine a infrarossi e rivelare maggiori dettagli. La figura sottostante mostra la differenza tra un'immagine a infrarossi termicamente non regolata e una termicamente regolata.

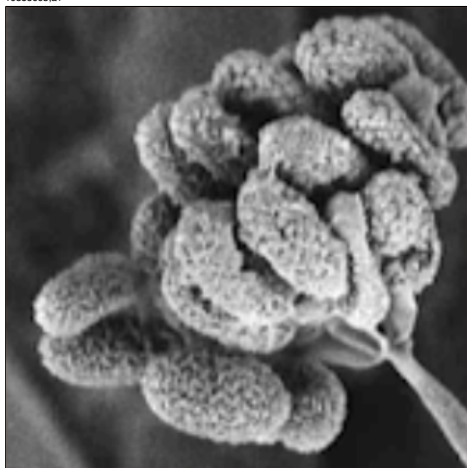


**Figura 15.1 SINISTRA:** immagine non regolata termicamente. **DESTRA:** immagine regolata termicamente, dopo il cambiamento di livello e di campo.

### 15.2.1.2 *Linee guida per il rilevamento dell'umidità, della muffa e dei danni causati dall'acqua*

- I problemi di un edificio correlati a umidità e infiltrazioni di acqua potrebbero manifestarsi solo dopo che la superficie è stata esposta a una fonte di calore, ad esempio la luce solare.
- La presenza di acqua modifica la conducibilità e la massa termica del materiale da costruzione. Può anche modificare la temperatura superficiale del materiale da costruzione a causa del raffreddamento da evaporazione. La conducibilità termica è la capacità di un materiale di condurre il calore, mentre la massa termica è la sua capacità di immagazzinare calore.
- Un'ispezione a infrarossi non consente di rilevare direttamente la presenza di muffa, ma può essere utilizzata per individuare la presenza di umidità, condizione in cui può svilupparsi o essersi già sviluppata la muffa. Per proliferare, la muffa necessita di temperature comprese tra +4 e +38°C, di sostanze nutritive e di umidità. Con livelli di umidità che superano il 50% si crea un ambiente sufficientemente adatto per la formazione di muffa.

10556003.a1



**Figura 15.2** Vista microscopica di spore di muffa

### 15.2.1.3 *Linee guida per il rilevamento di infiltrazioni d'aria e difetti di isolamento*

- Per eseguire rilevamenti accurati con la termocamera, misurare la temperatura e immettere il valore nella termocamera.
- È consigliabile che vi sia una differenza di pressione tra l'esterno e l'interno della struttura dell'edificio. Ciò facilita l'analisi delle immagini termiche e rivela difetti non altrimenti visibili. Si consiglia una pressione negativa compresa tra 10 e 50 Pa; è tuttavia accettabile condurre l'ispezione a una pressione negativa inferiore. Per

realizzare queste condizioni, chiudere tutte le finestre, le porte e i condotti di aerazione, quindi azionare la cappa aspirante della cucina per il tempo necessario a raggiungere una pressione negativa di 5–10 Pa (solo per edifici residenziali).

- È consigliabile operare con una differenza di 10–15°C fra la temperatura interna e quella esterna. È possibile eseguire ispezioni anche con una differenza di temperatura minore, ma l'analisi delle immagini termiche risulterà più difficile.
- Se una parte della struttura edilizia, ad esempio la facciata, deve essere ispezionata dall'interno, evitarne l'esposizione alla luce solare diretta. La luce solare infatti riscalderebbe la facciata, annullando le differenze di temperatura all'interno e mascherando così gli eventuali problemi della struttura edilizia. La stagione primaverile, con basse temperature notturne ( $\pm 0^\circ\text{C}$ ) e alte temperature diurne (+14°C), è particolarmente rischiosa.

### 15.2.2 Rilevamento dell'umidità

L'umidità in una struttura edilizia può avere origini diverse, ad esempio:

- Infiltrazioni dall'esterno, ad esempio per allagamenti, perdite da idranti antincendio e così via.
- Infiltrazioni interne, ad esempio dalle tubazioni dell'acqua corrente o dell'acqua di scarico.
- Condensa, ovvero l'umidità contenuta nell'aria che si manifesta allo stato liquido per condensazione sulle superfici fredde.
- Umidità dell'edificio, ovvero l'umidità presente nei materiali di costruzione prima di erigere la struttura edilizia.
- Acqua residua da interventi antincendio.

Quale metodo di rilevamento non distruttivo, l'utilizzo di una termocamera presenta rispetto ad altri metodi diversi vantaggi e alcuni svantaggi:

Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rapidità.</li> <li>■ Indagine non intrusiva.</li> <li>■ Nessuna necessità di allontanare i residenti.</li> <li>■ Presentazione visiva dei rilevamenti.</li> <li>■ Conferma dei punti deboli e dei percorsi di avanzamento dell'umidità.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Rilevamento dei soli differenziali di temperatura di superficie e impossibilità di vedere attraverso i muri.</li> <li>■ Impossibilità di rilevare i danni al di sotto della superficie, ad esempio la presenza di muffa o di danni strutturali.</li> </ul>

### 15.2.3 Rilevamento dell'umidità (1): tetti commerciali con poca pendenza

#### 15.2.3.1 Informazioni generali

I tetti commerciali con poca pendenza rappresentano la tipologia di tetti più comunemente utilizzata per gli edifici industriali quali magazzini, stabilimenti industriali, officine meccaniche e così via. Uno dei vantaggi principali rispetto ai tetti spioventi è costituito dal basso costo dei materiali e della messa in opera. Tuttavia, contrariamente alla

maggior parte dei tetti spioventi, questa struttura favorisce il ristagno di neve o ghiaccio e pertanto deve essere costruita in modo da sopportare non solo il peso della struttura stessa, ma anche di neve, ghiaccio e pioggia.

Benché per eseguire un'ispezione termografica di questo tipo sia auspicabile disporre delle nozioni di base sulla costruzione dei tetti commerciali con poca pendenza, non è richiesta una conoscenza approfondita. Sono numerosi i principi di progettazione e i materiali specifici dei tetti commerciali con poca pendenza e sarebbe impossibile per il responsabile dell'ispezione a infrarossi conoscerli tutti. Nel caso in cui fossero necessarie informazioni aggiuntive su un determinato tipo di tetto, in genere l'architetto o la stazione appaltante è in grado di fornire spiegazioni esaurienti.

Le cause più comuni di cedimento dei tetti sono elencate nella tabella sottostante (da SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982), p. 177).

Causa	%
Difetti di esecuzione	47,6
Traffico sul tetto	2,6
Progettazione scadente	16,7
Ristagni di umidità	7,8
Materiali	8,0
Deterioramento dovuto al tempo e alle intemperie	8,4

I punti di potenziale infiltrazione comprendono:

- Converse
- Compluvi
- Penetrazioni
- Giunzioni
- Bolle

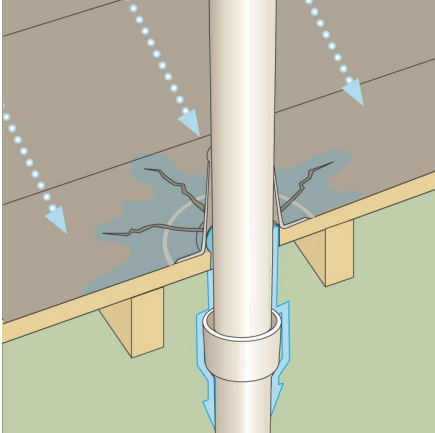
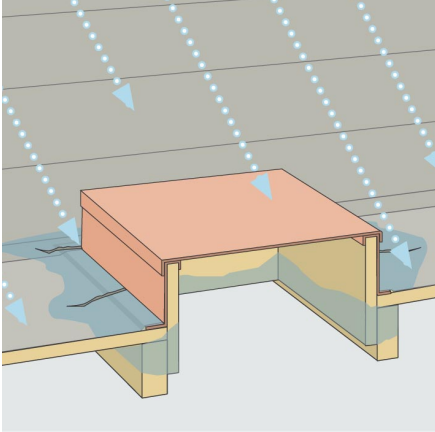
#### 15.2.3.2 *Norme di sicurezza*

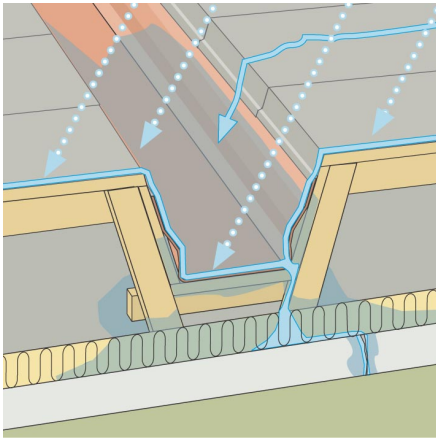
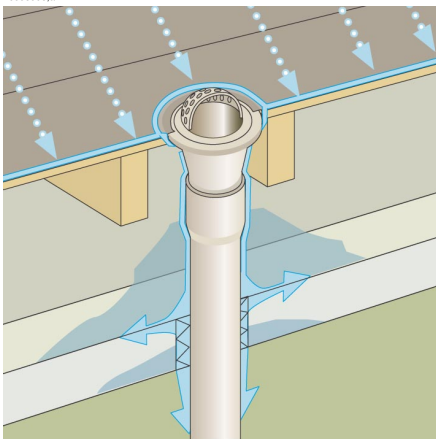
- È consigliabile essere almeno in due e preferibilmente in tre o più persone per eseguire ispezioni su un tetto.
- Ispezionare la parte inferiore del tetto per verificarne l'integrità strutturale prima di salire.
- Evitare di calpestare i rigonfiamenti che si formano in genere sul bitume stratificato e sui tetti in ghiaia.
- Tenere a portata di mano un cellulare o una radio ricetrasmittente per i casi di emergenza.

- Informare la polizia della zona e il servizio di sicurezza dello stabilimento prima di procedere a indagini notturne sul tetto.

### 15.2.3.3 Strutture di edifici con commenti

In questa sezione sono riportati alcuni esempi tipici di problemi di umidità rilevati in tetti commerciali con poca pendenza.

Disegno strutturale	Commento
<p>10553603,a2</p> 	<p>Sigillatura inadeguata della membrana del tetto attorno ai tubi o ai condotti di aerazione, con conseguenti infiltrazioni localizzate attorno al tubo o al condotto.</p>
<p>10553703,a2</p> 	<p>Membrana del tetto sigillata in modo inadeguato attorno al portello di accesso al tetto.</p>

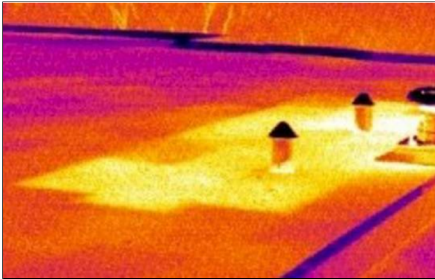
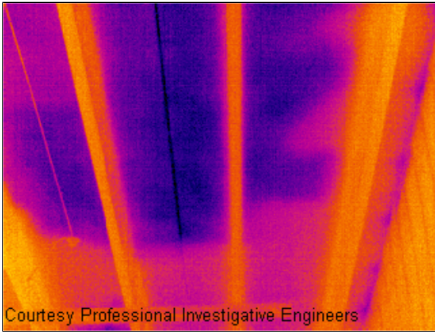
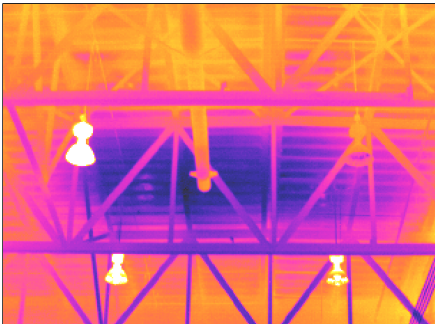
Disegno strutturale	Commento
<p>10553803.a2</p> 	<p>Canali di drenaggio posti troppo in alto e con inclinazione insufficiente. Nel canale di drenaggio, dopo la pioggia, resta dell'acqua che può provocare infiltrazioni localizzate attorno al canale.</p>
<p>10553803.a2</p> 	<p>Sigillatura inadeguata tra la membrana e lo scarico del tetto, con conseguenti infiltrazioni localizzate attorno allo scarico.</p>

### 15.2.3.4 Immagini termiche con commenti

Di seguito viene illustrato come individuare un isolante inumidito sotto la superficie del tetto. Se la superficie è asciutta, inclusa l'eventuale ghiaia o massetto, una giornata assolata riscalderebbe tutto il tetto. Appena si fa sera, se il cielo è terso, il tetto inizierebbe a raffreddarsi per irradiazione. A causa della maggiore capacità termica, l'isolante inumidito conserverebbe il calore più a lungo rispetto alle parti asciutte e sarebbe quindi visibile agli infrarossi (vedere le foto che seguono). Questa tecnica si rivela particolarmente efficace per i tetti con isolante assorbente, ad esempio fibra di legno, lana di vetro e perlite, in cui le caratteristiche termiche sono quasi perfettamente in correlazione con l'umidità.

Le ispezioni a infrarossi di tetti con isolante non assorbente, comune in molti sistemi monostrato, comportano maggiori difficoltà di diagnosi perché le zone rivelate dall'analisi termica sono più diffuse.

Questa sezione comprende alcune immagini termiche di tipici problemi di umidità su tetti commerciali a bassa pendenza:

Immagine termica	Commento
<p>10554003.a1</p> 	<p>Rilevamento di umidità su un tetto, registrata durante il tardo pomeriggio.</p> <p>Il materiale da costruzione interessato dall'umidità ha una massa termica più elevata e la sua temperatura diminuisce quindi più lentamente rispetto alle aree circostanti.</p>
<p>10554103.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Componenti e isolante di un tetto danneggiati dall'acqua, individuati mediante una scansione a infrarossi dal lato inferiore di un tetto composto costruito su una terrazza in calcestruzzo.</p> <p>Le aree danneggiate sono più fredde delle aree circostanti intatte, a causa dell'effetto capacitivo conduttivo e/o termico.</p>
<p>10554203.a1</p> 	<p>Ispezione diurna di un tetto commerciale composto a bassa pendenza.</p> <p>Le aree danneggiate sono più fredde delle aree circostanti asciutte, a causa dell'effetto capacitivo conduttivo e/o termico.</p>

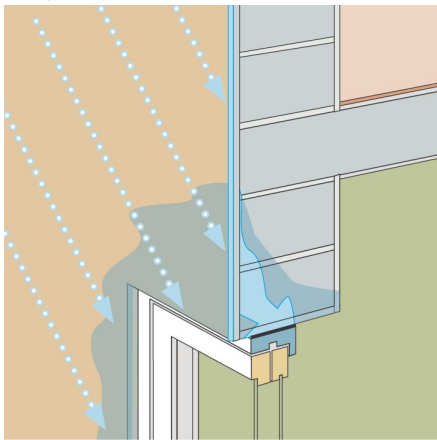
## 15.2.4 Rilevamento dell'umidità (2): facciate di edifici commerciali e residenziali

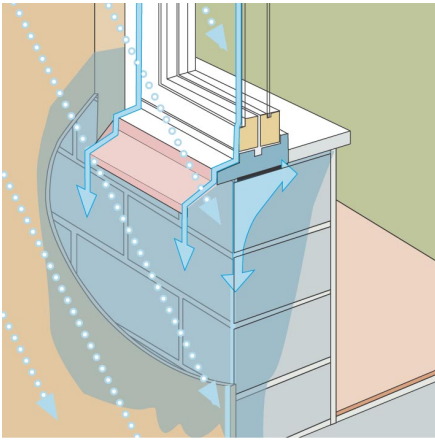
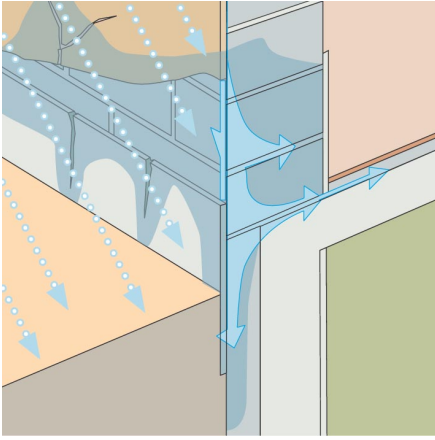
### 15.2.4.1 Informazioni generali

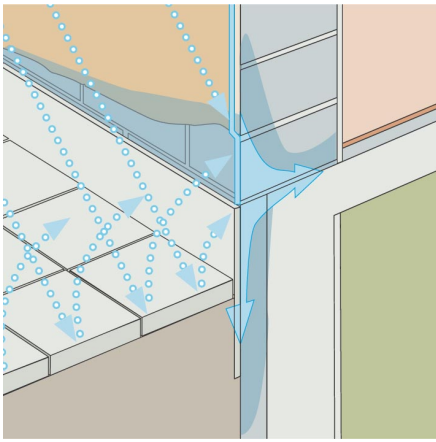
La termografia si è rivelata un aiuto prezioso per la valutazione delle infiltrazioni di umidità nelle facciate di edifici commerciali e residenziali. Poter fornire un'illustrazione fisica dei percorsi di avanzamento dell'umidità è più utile che estrapolare posizioni per il sondaggio tramite umidometro e più economico rispetto all'esecuzione di estese e invasive perforazioni di prova.

### 15.2.4.2 Strutture di edifici con commenti

In questa sezione sono riportati alcuni esempi tipici di problemi di umidità rilevati su facciate di edifici commerciali e residenziali.

Disegno strutturale	Commento
 <p>10554303.a2</p>	<p>La pioggia battente penetra nella facciata a causa di conchi di malta mal eseguiti. L'umidità si accumula nella muratura sopra la finestra.</p>

Disegno strutturale	Commento
<p>10554403.a2</p> 	<p>La pioggia battente colpisce la finestra diagonalmente. La maggior parte della pioggia scorre via dalla scossalina del bordo della finestra, ma una parte riesce a infiltrarsi nella muratura, nel punto di contatto tra l'intonaco e il lato inferiore della scossalina.</p>
<p>10554503.a2</p> 	<p>La pioggia batte sulla facciata diagonalmente e penetra nell'intonaco attraverso le crepe. L'acqua si infiltra quindi nell'intonaco all'interno e causa erosione in caso di gelo.</p>

Disegno strutturale	Commento
<p>10554603.a2</p>  <p>The diagram illustrates a cross-section of a window frame and its connection to the wall and floor. Blue arrows and dots represent water entering from the exterior, passing through the window frame and into the wall and floor structure. This indicates a failure in the waterproofing or sealing of the window frame.</p>	<p>La pioggia schizza sulla facciata e penetra nell'intonaco e nella muratura per assorbimento, causando infine erosione in caso di gelo.</p>

#### 15.2.4.3 Immagini termiche con commenti

In questa sezione sono incluse alcune immagini termiche tipiche di problemi di umidità rilevati su facciate di edifici commerciali e residenziali.

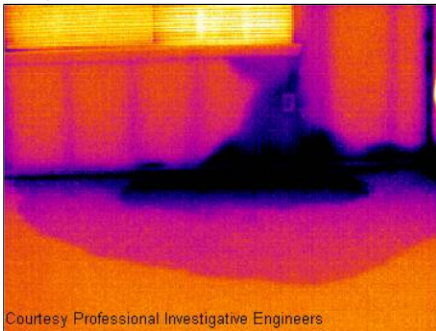
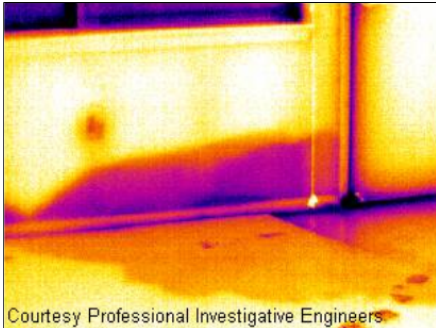
Immagine termica	Commento
<p>10554703.a1</p>  <p>The thermal image shows a wall with a window. A dark, irregular shape is visible on the wall, indicating a cold spot. This is likely due to moisture infiltration, which causes the wall to cool down. The rest of the wall and the window frame appear warmer (yellow and orange).</p> <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Un rivestimento in pietra inadeguatamente terminato e sigillato all'intelaiatura della finestra e la mancanza di scossaline ha provocato l'infiltrazione di umidità nella cavità del muro e nello spazio abitato interno.</p>

Immagine termica	Commento
<p>10554803.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Diffusione dell'umidità in un muro a secco per capillarità e nei componenti interni di rifinitura per pendenza e distanze inadeguate dalla facciata laterale in vinile in un complesso di appartamenti.</p>

### 15.2.5 Rilevamento dell'umidità (3): copertine e balconi

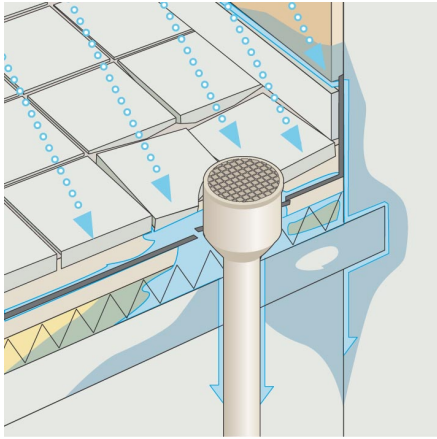
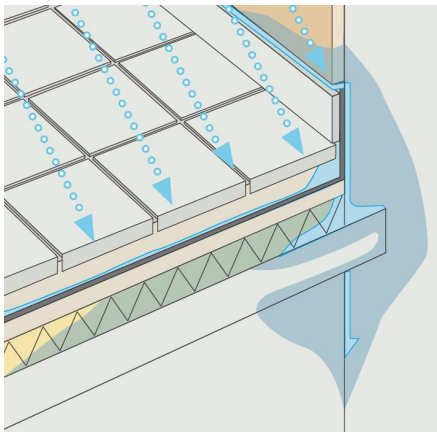
#### 15.2.5.1 *Informazioni generali*

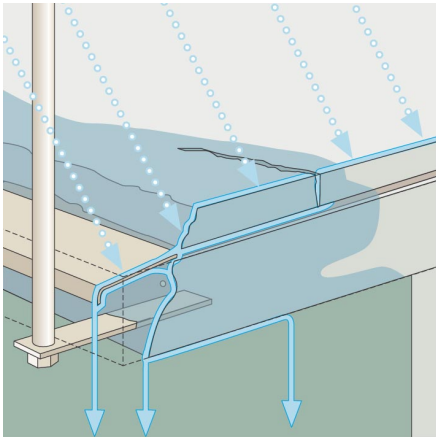
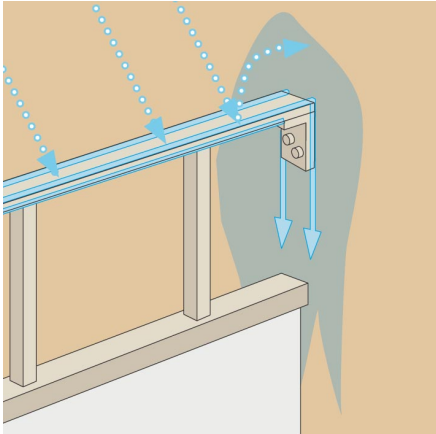
Nonostante le differenze di progettazione, materiali e costruzione, le copertine, ad esempio di piazzali, di cortili e così via, sono soggette agli stessi problemi di umidità e infiltrazioni dei tetti commerciali con poca pendenza. Scossaline inadeguate, guaine non sigillate correttamente e un drenaggio insufficiente possono provocare danni significativi nelle strutture edilizie sottostanti.

I balconi, anche se di dimensioni minori, richiedono la stessa attenzione nella progettazione, nella scelta dei materiali e nella realizzazione di qualsiasi altra struttura architettonica. Poiché i balconi sono generalmente sostenuti da un solo lato, l'umidità e la conseguente corrosione di puntoni e armature di cemento possono causare problemi e situazioni pericolose.

### 15.2.5.2 Strutture di edifici con commenti

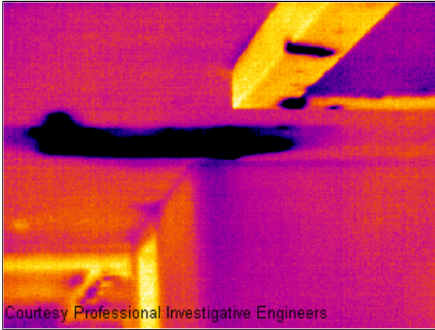
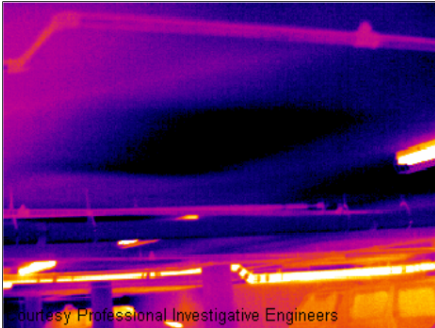
In questa sezione sono riportati alcuni esempi tipici di problemi di umidità rilevati su copertine e balconi.

Disegno strutturale	Commento
<p>10555203.a2</p> 	<p>Sigillatura inadeguata di pavimentazione e membrana con lo scarico del tetto, con conseguenti infiltrazioni durante le piogge.</p>
<p>10555103.a2</p> 	<p>Mancanza di scossalina alla giunzione tra la terrazza e il muro, con conseguente penetrazione della pioggia nel calcestruzzo e nell'isolante.</p>

Disegno strutturale	Commento
<p>10555003.a2</p> 	<p>A causa delle dimensioni insufficienti della protezione verticale, l'acqua è penetrata nel calcestruzzo, causandone lo sgretolamento e la corrosione dell'armatura.</p> <p><b>RISCHIO PER LA SICUREZZA</b></p>
<p>10554803.a2</p> 	<p>L'acqua è penetrata nell'intonaco e nella muratura sottostante nel punto in cui la ringhiera è fissata al muro.</p> <p><b>RISCHIO PER LA SICUREZZA</b></p>

### 15.2.5.3 Immagini termiche con commenti

In questa sezione sono incluse alcune immagini termiche tipiche di problemi di umidità rilevati su copertine e balconi.

Immagine termica	Commento
<p>10555303.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Scossaline non correttamente installate alla giunzione tra il balcone e il muro e la mancanza di un sistema di drenaggio perimetrale hanno causato l'infiltrazione di umidità nella struttura di supporto in legno del ballatoio esterno di un complesso loft.</p>
<p>10555403.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>La mancanza di un piano o di un mezzo di drenaggio in materiale composito sulla struttura di una terrazza di un parcheggio sotterraneo ha causato ristagno d'acqua tra la struttura in calcestruzzo della terrazza e il manto superficiale.</p>

## 15.2.6 Rilevamento dell'umidità (4): rotture e perdite dell'impianto idraulico

### 15.2.6.1 Informazioni generali

L'acqua che fuoriesce da perdite dell'impianto idraulico spesso può provocare seri danni a una struttura edilizia. Le piccole perdite possono essere difficili da rilevare e negli anni possono penetrare nei muri portanti e nella fondamenta in modo irreparabile per la struttura edilizia.

Il ricorso tempestivo alla termografia edilizia non appena si sospettano rotture o perdite del sistema idraulico può essere determinante per risparmiare in modo significativo su materiali e manodopera.

### 15.2.6.2 Immagini termiche con commenti

In questa sezione sono incluse alcune immagini termiche tipiche di rotture e perdite dell'impianto idraulico.

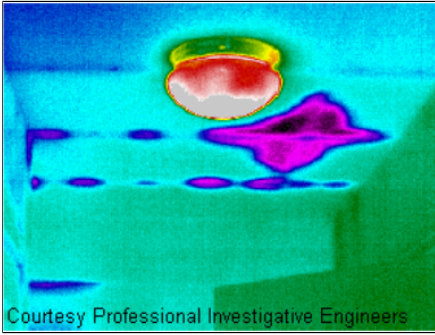
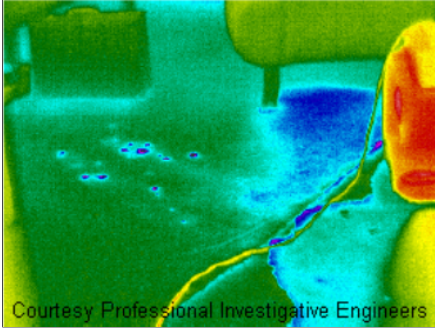
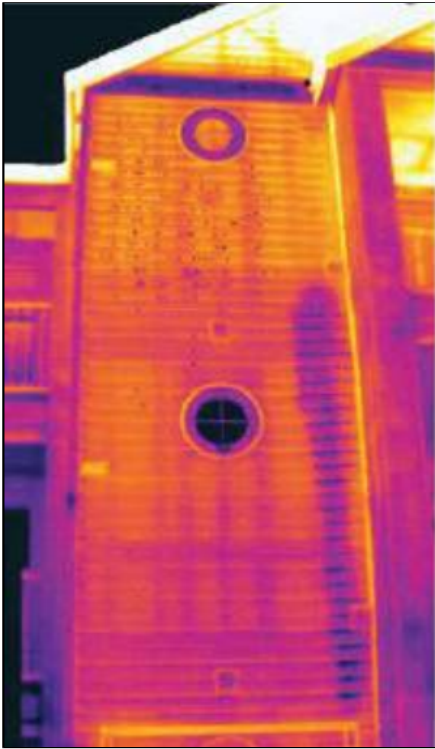
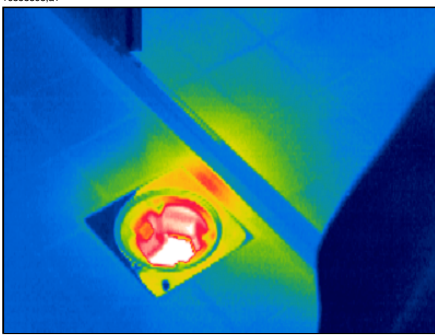
Immagine termica	Commento
<p>10555503.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Individuazione della diffusione dell'umidità lungo i canali delle travi in acciaio nel soffitto di un'abitazione monofamiliare in seguito alla rottura di una tubazione.</p>
<p>10555603.a1</p>  <p>Courtesy Professional Investigative Engineers</p>	<p>Si è rilevato che l'acqua proveniente da una perdita dell'impianto idraulico si è diffusa più di quanto originariamente previsto dall'esecutore durante un intervento di riparazione consistente nell'asportazione della moquette e nell'installazione di deumidificatori.</p>

Immagine termica	Commento
<p>1055703.a1</p> 	<p>L'immagine termica di questa palazzina a tre piani con lato in vinile mostra chiaramente il percorso di un'importante perdita, completamente nascosta nel muro, da una lavatrice al terzo piano.</p>
<p>1055803.a1</p> 	<p>Perdita d'acqua dovuta a sigillatura non corretta tra la piletta di scarico e le piastrelle.</p>

## 15.2.7 Infiltrazioni d'aria

### 15.2.7.1 Informazioni generali

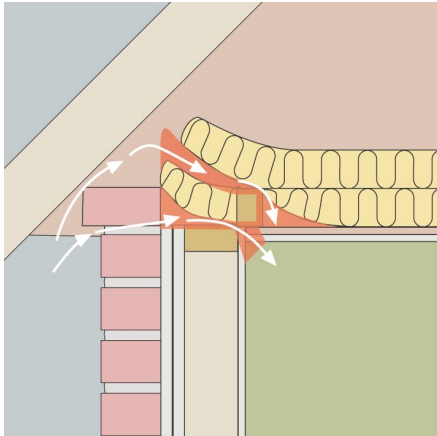
A causa della pressione esercitata dal vento su un edificio, delle differenze di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'edificio e dell'utilizzo nella maggior parte delle costruzioni di bocche d'aria per far fuoriuscire l'aria viziata, è possibile prevedere una pressione negativa di 2–5 Pa. La cosiddetta *infiltrazione di aria* si verifica quando per questa pressione negativa si incunea aria fredda nell'edificio a causa di problemi nel sistema di isolamento e/o della sigillatura. Le infiltrazioni di aria si osservano in genere in corrispondenza delle zone di discontinuità dei sistemi edilizi (giunti).

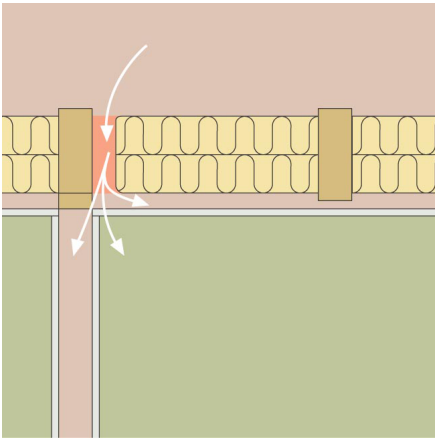
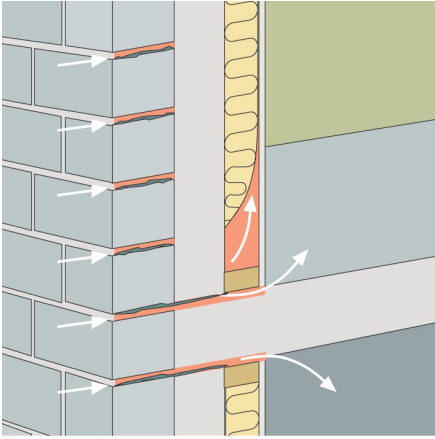
Poiché generano correnti di aria fredda, ad esempio in una stanza, le infiltrazioni di aria possono provocare una sostanziale alterazione del clima interno. Le correnti di aria di appena 0,15 m/s in genere vengono percepite dai residenti, anche se può essere difficile rilevarle utilizzando comuni strumenti di misurazione.

In un'immagine termica le infiltrazioni di aria possono essere individuate sulla base di un tipico modello di irradiazione, che parte dal punto di uscita nella struttura dell'edificio, ad esempio da dietro un battiscopa. Le zone di infiltrazione di aria inoltre sono caratterizzate in genere da una temperatura rilevata inferiore rispetto alle zone in cui è presente solo un problema di isolamento. Questo è dovuto al raffreddamento prodotto dalla corrente di aria (fattore di raffreddamento).

### 15.2.7.2 Strutture di edifici con commenti

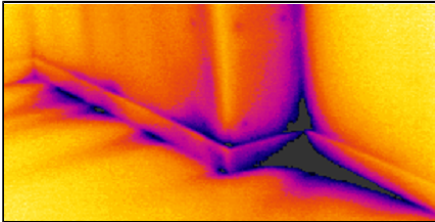
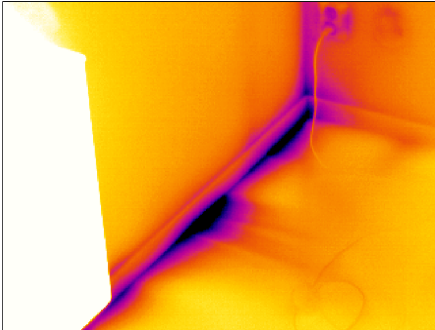
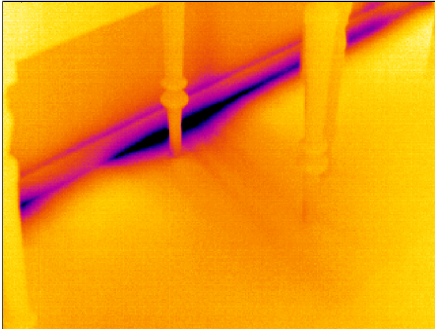
In questa sezione sono riportati alcuni esempi tipici di dettagli di strutture edilizie in cui si verificano infiltrazioni di aria.

Disegno strutturale	Commento
<p>10552503.a2</p> 	<p>Carenza di isolamento nella gronda di una casa in mattoni, dovuta a un'installazione errata di pannelli isolanti in fibra di vetro.</p> <p>L'infiltrazione d'aria penetra nella stanza da dietro il cornicione.</p>

Disegno strutturale	Commento
<p>10552303.a2</p> 	<p>Problemi di isolamento in un piano intermedio dovuto all'installazione non corretta di materiale isolante in lana di vetro.</p> <p>L'infiltrazione d'aria penetra nella stanza da dietro il cornicione.</p>
<p>10552603.a2</p> 	<p>Infiltrazione d'aria in un pavimento in calcestruzzo sul vespaio aerato a causa di crepe nella facciata in mattoni.</p> <p>L'infiltrazione d'aria penetra nella stanza da sotto il battiscopa.</p>

### 15.2.7.3 Immagini termiche con commenti

In questa sezione sono inclusi alcuni esempi tipici di immagini termiche di strutture edilizie in cui si sono verificate infiltrazioni di aria.

Immagine termica	Commento
<p>10552703.a1</p> 	<p>Infiltrazione d'aria da dietro un battiscopa. Notare il caratteristico motivo a raggi.</p>
<p>10552803.a1</p> 	<p>Infiltrazione d'aria da dietro un battiscopa. Notare il caratteristico motivo a raggi. L'area bianca sulla sinistra è un radiatore.</p>
<p>10552803.a1</p> 	<p>Infiltrazione d'aria da dietro un battiscopa. Notare il caratteristico motivo a raggi.</p>

## **15.2.8 Carenze d'isolamento**

### **15.2.8.1 Informazioni generali**

I problemi di isolamento non provocano necessariamente infiltrazioni di aria. Se il materiale isolante in lana di vetro non viene installato correttamente, si formeranno sacche di aria nella struttura dell'edificio. Poiché queste sacche di aria sono caratterizzate da una conduttività termica diversa rispetto alle aree con materiale isolante in lana di vetro installato correttamente, è possibile rilevarle durante un'ispezione di termografia edilizia.

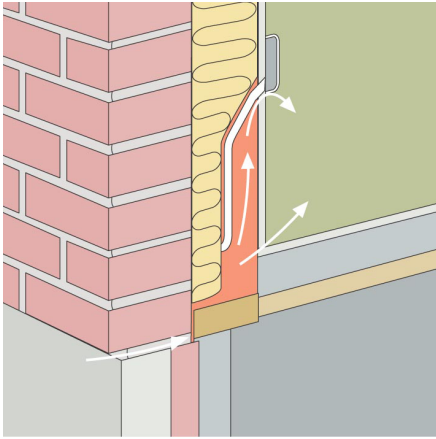
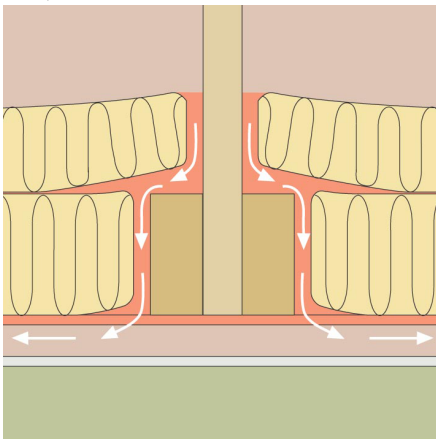
Come regola pratica, le aree con carenze d'isolamento hanno generalmente temperature più elevate delle aree che presentano solo infiltrazioni d'aria.

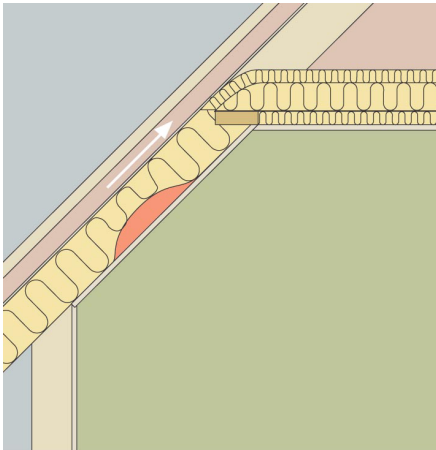
Quando si effettuano ispezioni termografiche di edifici al fine di individuare carenze d'isolamento, occorre tenere presente che le seguenti parti della struttura di un edificio possono apparire come carenze d'isolamento nell'immagine termica:

- Travetti, montanti, puntoni e travi in legno
- Strutture portanti e travi in acciaio
- Tubature per l'acqua all'interno di muri, soffitti e pavimenti
- Impianti elettrici all'interno di muri, soffitti e pavimenti, ad esempio sistemi di giunzione, tubature e così via
- Colonne in calcestruzzo e murature d'ambito in legno
- Condotti di ventilazione e di aspirazione dell'aria

### 15.2.8.2 Strutture di edifici con commenti

In questa sezione sono riportati alcuni esempi tipici di dettagli di strutture edilizie con problemi di isolamento:

Disegno strutturale	Commento
<p>10553203.a2</p> 	<p>Carenze d'isolamento (e infiltrazioni d'aria) dovute all'installazione scorretta di pannelli isolanti attorno a un quadro elettrico.</p> <p>Questo tipo di carenza d'isolamento è identificato da aree scure nell'immagine termica.</p>
<p>10553103.a2</p> 	<p>Carenze d'isolamento dovute all'installazione scorretta di pannelli isolanti attorno alla trave del pavimento di un attico. L'aria fredda si infiltra nella struttura e raffredda il soffitto all'interno.</p> <p>Questo tipo di carenza d'isolamento è identificato da aree scure nell'immagine termica.</p>

Disegno strutturale	Commento
<p>10553003.a2</p> 	<p>Carenze d'isolamento dovute all'installazione scorretta di pannelli isolanti che creano una sacca d'aria sul lato esterno di un soffitto inclinato.</p> <p>Questo tipo di carenza d'isolamento è identificato da aree scure nell'immagine termica.</p>

### 15.2.8.3 Immagini termiche con commenti

In questa sezione sono incluse alcune immagini termiche tipiche di problemi di isolamento.

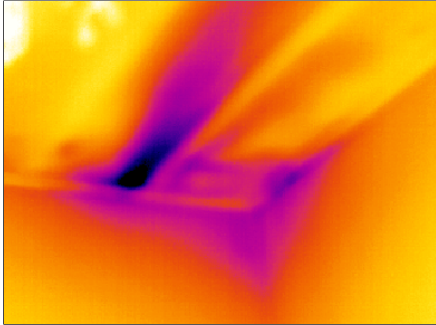
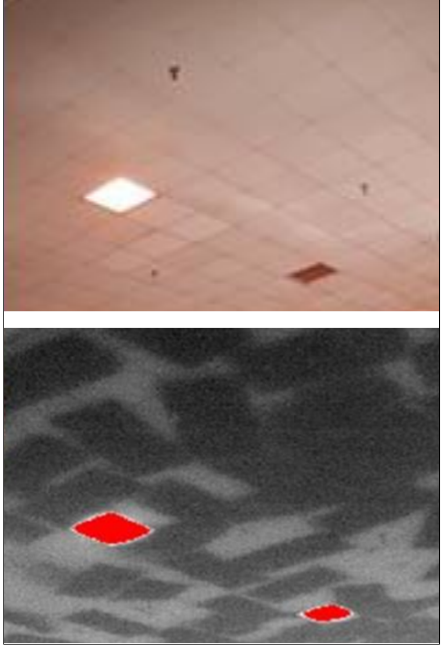
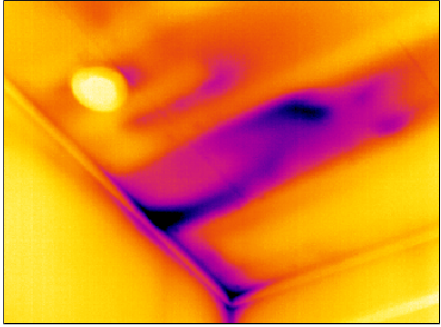
Immagine termica	Commento
<p>10553003.a1</p> 	<p>Carenze d'isolamento nella struttura di un solaio intermedio. La carenza può essere dovuta alla mancanza di pannelli isolanti o a una loro installazione scorretta (sacche d'aria).</p>

Immagine termica	Commento
<p data-bbox="149 201 209 218">10553403.a1</p> 	<p data-bbox="610 201 1058 251">Pannelli in fibra di vetro installati in modo scorretto in un soffitto sospeso.</p>
<p data-bbox="149 885 209 901">10553503.a1</p> 	<p data-bbox="610 885 1058 994">Carenze d'isolamento nella struttura di un solaio intermedio. La carenza può essere dovuta alla mancanza di pannelli isolanti o a una loro installazione scorretta (sacche d'aria).</p>

## 15.3 *Teoria di scienza delle costruzioni*

### 15.3.1 Informazioni generali

Di recente la richiesta di costruzioni caratterizzate da un ridotto consumo energetico è aumentata in modo significativo. Gli ultimi sviluppi nel settore energetico e il desiderio di vivere in ambienti piacevoli fanno sì che venga attribuita un'importanza sempre maggiore all'efficienza non solo dell'isolamento termico e della impermeabilità all'aria di un edificio, ma anche degli impianti di riscaldamento e ventilazione.

La presenza di difetti nell'isolamento e nella tenuta d'aria in strutture ad alto isolamento e tenuta può avere un grande impatto sulle perdite di energia. I difetti nell'isolamento termico e nella tenuta d'aria di un edificio non solo comportano il rischio di costi eccessivi di riscaldamento e manutenzione, ma creano anche le condizioni per un clima interno scadente.

Il grado di isolamento di un edificio è spesso espresso sotto forma di resistenza termica o come coefficiente di trasmissione termica (valore U) per le varie parti dell'edificio. Tuttavia, i valori di resistenza termica espressi forniscono raramente una misura delle effettive perdite di energia in un edificio. Le infiltrazioni d'aria da giunti e connessioni con scarsa tenuta e insufficientemente isolati causano spesso deviazioni considerevoli dai valori progettati e previsti.

La verifica che i singoli materiali ed elementi architettonici abbiano le proprietà promesse viene fornita mediante prove di laboratorio. Gli edifici completati devono essere controllati e ispezionati per garantire che le funzioni progettate di isolamento e tenuta d'aria siano effettivamente realizzate.

Nella sua applicazione all'ingegneria strutturale, la termografia viene utilizzata per studiare le variazioni di temperatura sulle superfici di una struttura. Delle variazioni nella resistenza termica della struttura possono, in determinate condizioni, produrre variazioni di temperatura sulla superficie. Delle infiltrazioni di aria fredda (o calda) attraverso la struttura influiscono anche sulle variazioni di temperatura della superficie. Ciò significa che i difetti di isolamento, i ponti termici e le infiltrazioni d'aria nei componenti strutturali che racchiudono un edificio possono essere localizzati e ispezionati.

La termografia da sola non mostra direttamente la resistenza termica o la tenuta d'aria della struttura. Dove è richiesta la quantificazione della resistenza termica o della tenuta d'aria, dovranno essere effettuate misurazioni aggiuntive. L'analisi termografica degli edifici si basa su determinati prerequisiti in termini di condizioni di temperatura e pressione attraverso la struttura.

I dettagli, le forme e i contrasti nell'immagine termica possono variare percepibilmente se si modifica uno qualsiasi di questi parametri. L'analisi e l'interpretazione dettagliate delle immagini termiche richiedono quindi una conoscenza approfondita di aspetti quali le proprietà dei materiali e delle strutture, gli effetti del clima e le più recenti tecniche di misurazione. Chi esegue le misurazioni e ne valuta i risultati deve avere riconosciute capacità ed esperienza, certificate ad esempio attraverso autorizzazioni rilasciate da enti normativi nazionali o regionali.

### 15.3.2 Effetti delle prove e dei controlli

Può essere difficile prevedere a monte quanto funzioneranno l'isolamento termico e l'impermeabilità all'aria di una costruzione quando sarà stata completata. Esistono infatti alcuni fattori relativi all'assemblaggio dei diversi componenti ed elementi di costruzione che possono avere un notevole impatto sul risultato finale. Gli effetti del trasporto, della movimentazione e dell'immagazzinamento nel sito e il modo in cui viene eseguito il lavoro non possono essere calcolati in anticipo. Per garantire che vengano realizzati gli obiettivi previsti, è necessario eseguire operazioni di test e verifica una volta portata a termine la costruzione.

La moderna tecnologia di isolamento ha ridotto la richiesta teorica di calore. Questo significa tuttavia che difetti anche relativamente minimi, ma rilevati in posizioni importanti, ad esempio punti di giuntura con infiltrazioni e materiale isolante installato in modo non corretto, possono avere conseguenze significative in termini sia di temperatura che di comfort. I test di verifica, ad esempio tramite la termografia, si sono dimostrati validi dal punto di vista sia del progettista, della stazione appaltante e del costruttore che dell'amministratore della proprietà e dell'utente.

- Per il progettista, l'importante è capire la funzione dei vari tipi di strutture, in modo che la progettazione possa essere eseguita tenendo conto sia dei metodi di lavoro, sia dei requisiti funzionali. Il progettista deve anche conoscere il funzionamento pratico di diversi materiali e combinazioni di materiali. Per raggiungere i risultati necessari in quest'area è possibile ricorrere a prove e controlli di dimostrata efficacia, nonché a riscontri empirici.
- L'esecutore desidera che vengano effettuate più prove e ispezioni per garantire che le strutture mantengano la funzione prevista, corrispondente ai requisiti stabiliti dai regolamenti emessi dalle autorità e dai documenti contrattuali. L'esecutore desidera conoscere, già nelle prime fasi della costruzione, le eventuali modifiche necessarie a prevenire difetti sistematici. Durante la costruzione sarà quindi necessario effettuare un controllo sui primi appartamenti completati in un progetto che preveda una produzione di massa. Seguiranno quindi controlli simili man mano che la produzione continua. In tal modo è possibile prevenire difetti sistematici ed evitare costi non necessari e futuri problemi. Questo controllo torna a vantaggio sia dei produttori, sia degli utenti.

- Per lo sviluppatore e l'amministratore della proprietà è essenziale che gli edifici siano controllati in riferimento ai criteri di risparmio energetico, manutenzione (danni da umidità o infiltrazioni d'acqua) e comfort per gli occupanti (ad esempio, superfici raffreddate e movimenti d'aria nelle zone occupate).
- Per l'utente l'importante è che il prodotto finito risponda ai requisiti annunciati per quanto riguarda l'isolamento termico e la tenuta d'aria. Per il singolo, l'acquisto di una casa comporta un impegno finanziario considerevole; l'acquirente vuole quindi essere certo che gli eventuali difetti di costruzione non implicino serie conseguenze finanziarie o problemi d'igiene.

Gli effetti dei test e delle verifiche dell'isolamento e dell'impermeabilità all'aria di un edificio sono in parte fisiologici e in parte finanziari.

La percezione fisiologica di un ambiente climatico interno è estremamente soggettiva e varia a seconda dell'equilibrio termico del corpo umano specifico e in base al modo in cui l'individuo percepisce la temperatura. La percezione del clima dipende sia dalla temperatura dell'aria interna che dalla temperatura delle superfici circostanti. Hanno valore anche la velocità di movimento e il contenuto di umidità dell'aria all'interno. Da un punto di vista fisiologico, una corrente d'aria produce una sensazione di raffreddamento locale della superficie del corpo provocato dalle condizioni seguenti:

- eccessivi spostamenti di aria nella zona occupata con temperatura dell'aria normale;
- normali spostamenti di aria nella zona occupata con una temperatura ambiente troppo bassa;
- notevole scambio di calore con una superficie fredda per irradiazione.

È difficile valutare gli effetti quantitativi delle prove e dei controlli effettuati sull'isolamento termico di un edificio.

Da alcune ricerche è risultato che i problemi rilevati nell'isolamento termico e nell'impermeabilità all'aria degli edifici provocano perdite di calore di circa il 20–30% superiori al previsto. Lo stesso risultato è stato ottenuto monitorando il consumo energetico prima e dopo interventi di risanamento in vasti complessi di piccole abitazioni e in condomini di appartamenti. Le cifre riportate probabilmente non sono rappresentative degli edifici in generale, poiché i dati della ricerca non possono essere considerati significativi per l'edilizia in generale. È tuttavia possibile affermare che i test e le verifiche dell'isolamento termico e dell'impermeabilità all'aria di un edificio possono portare a una riduzione del consumo energetico pari a circa il 10%.

Le ricerche hanno anche mostrato che l'incremento dei consumi energetici associato a difetti è spesso causato dal fatto che gli occupanti aumentano la temperatura interna di uno o più gradi oltre il livello normale per compensare l'effetto di fastidiose radiazioni termiche verso superfici fredde o di una sensazione spiacevole di aria in movimento in una stanza.

### 15.3.3 Fonti di interferenze nella termografia

Durante le analisi termografiche il rischio di confondere le variazioni di temperatura causate da problemi di isolamento con le variazioni associate al naturale cambiamento dei valori U lungo le superfici calde di una struttura è considerato poco rilevante in condizioni normali.

Le variazioni di temperatura associate a variazioni del valore U sono generalmente graduali e distribuite in modo simmetrico sulla superficie. Le variazioni di questo tipo si verificano naturalmente agli angoli formati dai tetti e dai pavimenti e agli angoli delle pareti.

Le variazioni di temperatura associate a infiltrazioni d'aria o a difetti d'isolamento sono nella maggior parte dei casi più evidenti, con contorni netti dalla forma caratteristica. La distribuzione della temperatura è generalmente asimmetrica.

Durante la termografia e quando si interpreta un'immagine termica, il confronto tra diverse immagini termiche può fornire informazioni preziose per la valutazione.

Le cause di interferenze più frequenti in termografia in pratica sono le seguenti:

- effetto della luce solare sulla superficie da sottoporre a ispezione termografica, ad esempio luce solare che si riflette attraverso una finestra;
- caloriferi caldi e relative tubazioni;
- fonti luminose dirette o posizionate in prossimità della superficie da sottoporre a misurazione;
- correnti di aria, ad esempio provenienti da prese d'aria dirette sulla superficie;
- effetto prodotto da condensa sulla superficie.

Le superfici su cui si riflette la luce solare non devono essere sottoposte a ispezioni termografiche. Se esiste il rischio di un qualsiasi effetto prodotto dalla luce solare, è necessario oscurare le finestre, ad esempio con una veneziana. È opportuno tuttavia ricordare che alcuni difetti o problemi di costruzione, in genere legati all'umidità, si manifestano solo dopo aver applicato calore sulla superficie, ad esempio calore prodotto dall'esposizione alla luce solare.

Per ulteriori informazioni sul rilevamento dell'umidità, vedere la sezione 15.2.2 – Rilevamento dell'umidità a pagina 53.

Un radiatore caldo appare come una superficie chiara luminosa in un'immagine termica. La temperatura superficiale del muro accanto al radiatore è più elevata, il che può nascondere eventuali difetti presenti.

Per ovviare al meglio possibile al rischio degli effetti di interferenza prodotti da caloriferi caldi, è opportuno spegnerli con un certo anticipo rispetto al momento in cui si procederà con la misurazione. Tuttavia, in base al tipo di costruzione dell'edificio, ovvero in funzione di una grande o piccola massa, potrebbe essere necessario spe-

gnere i caloriferi diverse ore prima dell'indagine termografica. La temperatura dell'aria della stanza non deve scendere a tal punto da incidere sulla distribuzione della temperatura sulle superfici della struttura. I caloriferi elettrici richiedono meno tempo per raffreddarsi una volta spenti, in genere 20–30 minuti.

Le luci poste sulle pareti devono essere spente quando si acquisisce l'immagine termica.

Durante la termografia non vi devono essere interferenze di correnti d'aria (ad esempio, finestre aperte, porte aperte, ventilatori diretti verso la superficie da misurare) che possono interessare le superfici oggetto d'ispezione.

Eventuali superfici bagnate, ad esempio in seguito alla formazione di condensa, alterano sensibilmente la conduzione termica e la temperatura della superficie. Dove è presente umidità su una superficie, vi è generalmente dell'evaporazione che sottrae calore, abbassando in tal modo la temperatura della superficie di diversi gradi. I principali ponti termici e i difetti di isolamento sono i punti in cui esiste il rischio di formazione di condensa superficiale.

Le interferenze significative del tipo qui descritto possono normalmente essere rilevate ed eliminate prima della misurazione.

Se durante la termografia non è possibile proteggere le superfici oggetto di misurazione da fattori di disturbo, questi devono essere presi in considerazione nell'interpretazione e nella valutazione dei risultati. Durante il rilevamento delle misurazioni occorre registrare dettagliatamente le condizioni nelle quali è stata eseguita la termografia.

#### **15.3.4 Temperatura della superficie e infiltrazioni d'aria**

Eventuali problemi di impermeabilità all'aria di un edificio dovuti a piccole fessure nella struttura possono essere rilevati misurando la temperatura della superficie. Se nell'edificio ispezionato viene riscontrata una pressione negativa, l'aria penetra nell'edificio attraverso le fessure. L'aria fredda che penetra in un muro attraverso piccole fessure in genere abbassa la temperatura nelle aree adiacenti del muro. Come risultato, nella superficie interna del muro si sviluppa un'area a superficie raffreddata con una forma caratteristica. La termografia può essere utilizzata per rilevare le aree a superficie raffreddata. I movimenti di aria a livello della superficie dei muri possono essere misurati tramite un indicatore della velocità dell'aria. Se viene rilevata una pressione positiva all'interno dell'edificio ispezionato, l'aria dei locali riscaldati fuoriuscirà attraverso le fessure del muro, con una conseguente concentrazione di aree a superficie calda intorno alle fessure.

La quantità di infiltrazioni dipende in parte dalle fessure e in parte dalla differenza di pressione nella struttura.

### 15.3.4.1 Condizioni di pressione in un edificio

Le cause principali di pressione differenziale in un elemento strutturale di un edificio sono le seguenti:

- condizioni del vento intorno all'edificio;
- effetti del sistema di ventilazione;
- differenze di temperatura tra l'aria all'interno e all'esterno, ovvero pressione differenziale termica.

Le condizioni effettive di pressione all'interno di un edificio sono generalmente causate da una combinazione di questi fattori.

Il gradiente di pressione risultante sui diversi elementi strutturali può essere illustrato dalla figura a pagina 80. Gli effetti discontinui del vento su un edificio indicano che in pratica le condizioni di pressione possono essere relativamente variabili e complesse.

In presenza di vento costante, si applica la legge di Bernoulli:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

dove:

$\rho$	Densità dell'aria in kg/m <sup>3</sup>
$v$	Velocità del vento in m/s
$p$	Pressione statica in Pa

e dove:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p$$

indica la pressione dinamica e  $p$  la pressione statica. Sommando queste pressioni si ottiene la pressione totale.

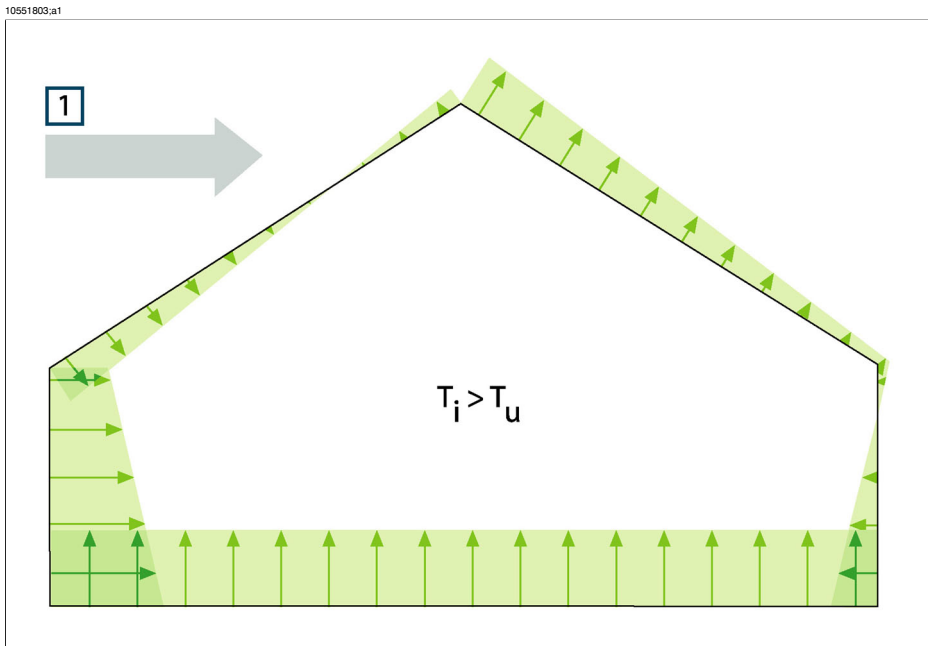
Il carico prodotto dal vento contro una superficie trasforma la pressione dinamica in pressione statica contro la superficie. L'entità di questa pressione statica è determinata, tra l'altro, dalla forma della superficie e dall'angolazione esposta alla direzione del vento.

La parte di pressione dinamica che diventa pressione statica sulla superficie ( $p_{\text{stat}}$ ) è determinata dal cosiddetto fattore di concentrazione degli sforzi:

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

Se  $\rho$  equivale a  $1,23 \text{ kg/m}^3$  (densità dell'aria a  $+15^\circ\text{C}$ ), si ottengono le seguenti pressioni locali nel flusso di vento:

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$



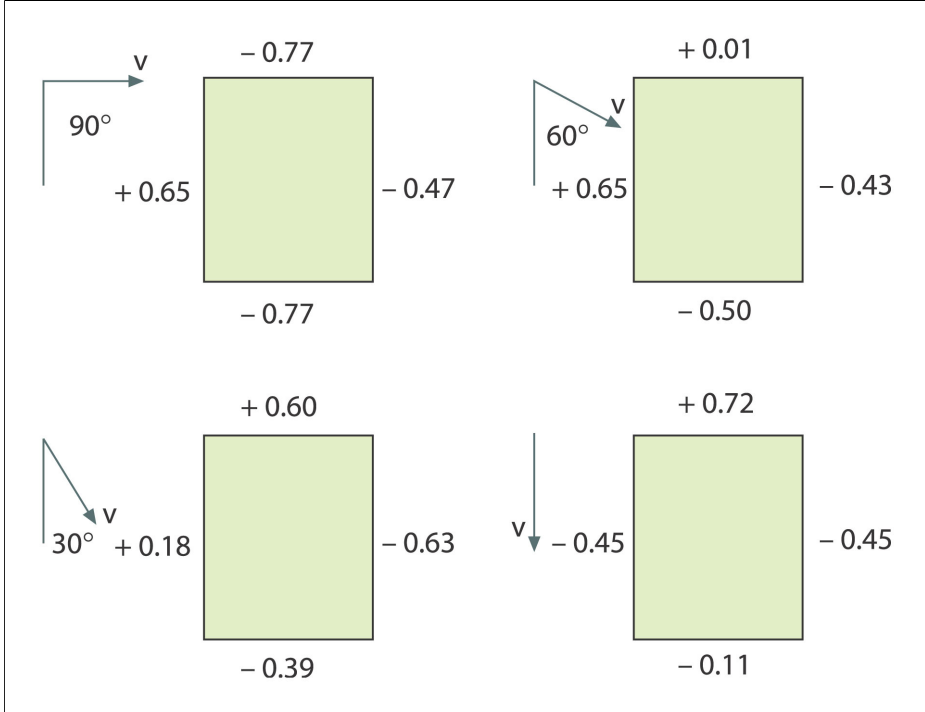
**Figura 15.3** Distribuzione delle pressioni risultanti sulle superfici perimetrali di un edificio in base agli effetti del vento, alla ventilazione e alla differenza tra temperatura interna e temperatura esterna. 1: direzione del vento;  $T_u$ : temperatura termodinamica dell'aria all'esterno in K;  $T_i$ : temperatura termodinamica dell'aria all'interno in K.

Se tutta la pressione dinamica si trasforma in pressione statica,  $C = 1$ . Nella figura a pagina 81 vengono riportati alcuni esempi di distribuzioni del fattore di concentrazione delle tensioni su un edificio con diverse direzioni del vento.

Il vento causa quindi una pressione interna negativa sul lato sopravvento e una pressione interna positiva sul lato sottovento. La pressione interna dell'aria dipende dalle condizioni del vento, dalle fessure nell'edificio e da come queste sono distribuite in relazione alla direzione del vento. Se le fessure nell'edificio sono distribuite in modo

uniforme, la pressione interna può variare di  $\pm 0.2 p_{\text{stat}}$ . Se la maggior parte delle fessure si trova sul lato sopravvento, la pressione interna aumenta leggermente. Nel caso opposto, con la maggior parte delle fessure sul lato sottovento, la pressione interna diminuisce.

10551903.a1



**Figura 15.4** Distribuzione del fattore di concentrazione degli sforzi (C) per varie direzioni e velocità (v) del vento relativamente a un edificio.

Le condizioni del vento possono variare in modo significativo nel tempo e tra punti relativamente vicini. Nella termografia queste variazioni possono incidere nettamente sui risultati delle misurazioni.

È stato dimostrato in modo empirico che la pressione differenziale su una facciata esposta a una forza media del vento di circa 5 m/s sarà di circa 10 Pa.

La ventilazione meccanica genera una pressione interna costante negativa o positiva, a seconda della direzione. Da alcune ricerche è risultato che la pressione negativa generata dall'estrazione meccanica, ad esempio tramite gli aspiratori delle cucine, in abitazioni di piccole dimensioni è compresa in genere tra 5 e 10 Pa. In situazioni di estrazione meccanica dell'aria di ventilazione, ad esempio in condomini di appartamenti, la pressione negativa è superiore, 10–50 Pa. In situazioni di ventilazione cosid-

detta bilanciata, ovvero aria fornita e aria estratta controllate meccanicamente, questo valore di solito cambia e si ottiene una pressione leggermente negativa all'interno (3–5 Pa).

La pressione differenziale generata dalle differenze di temperatura, il cosiddetto effetto camino, ovvero differenze di impermeabilità all'aria a temperature diverse, indica che esiste una pressione negativa nella parte bassa dell'edificio e una pressione positiva nella parte alta. A una determinata altezza esiste una zona neutra in cui le pressioni all'interno e all'esterno si equivalgono. Vedere la figura a pagina 83. Questa pressione differenziale può essere descritta dalla relazione:

$$\Delta p = g \times \rho_u \times h \left( 1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \text{ Pa}$$

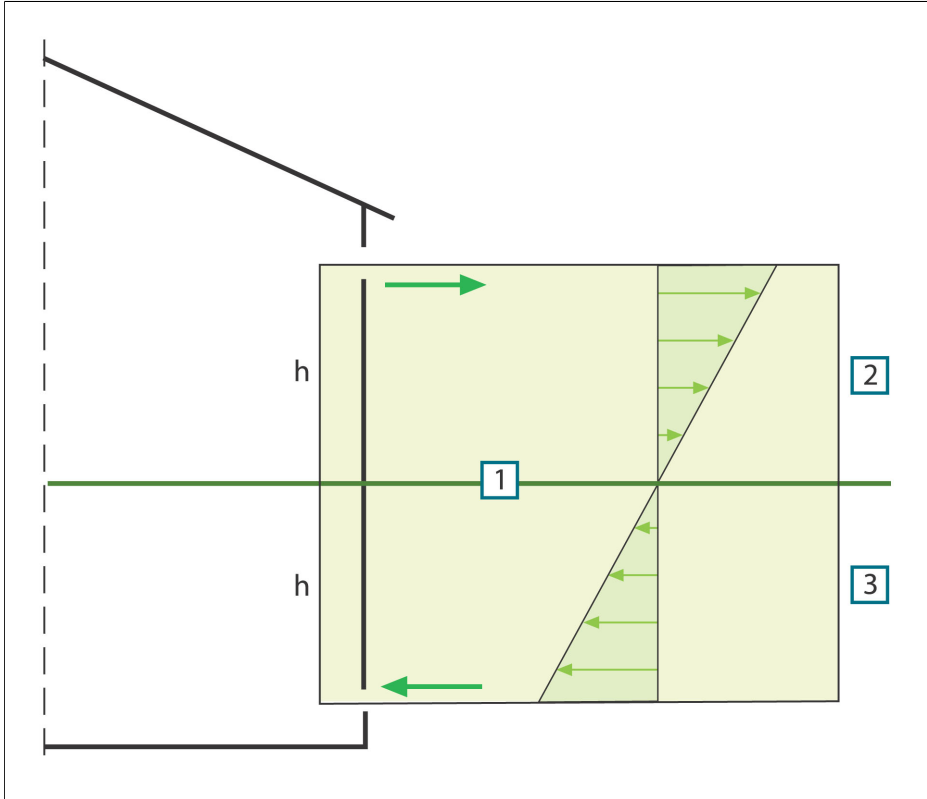
$\Delta p$	Differenziale della pressione dell'aria all'interno della struttura in Pa
$g$	9,81 m/s <sup>2</sup>
$\rho_u$	Densità dell'aria in kg/m <sup>3</sup>
$T_u$	Temperatura termodinamica dell'aria all'esterno in K
$T_i$	Temperatura termodinamica dell'aria all'interno in K
$h$	Distanza dalla zona neutra in metri

Se  $\rho_u = 1,29 \text{ kg/m}^3$  (densità dell'aria a una temperatura di 273 K e  $\approx 100 \text{ kPa}$ ), si ottiene:

$$\Delta p \approx 13 \times h \left( 1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

Con una differenza di +25°C tra le temperature ambiente interna ed esterna, il risultato è una differenza di pressione differenziale nella struttura di circa 1 Pa/m di differenza in altezza.

10552003.a1



**Figura 15.5** Distribuzione delle pressioni in un edificio con due aperture e in cui la temperatura esterna è inferiore a quella interna. **1**: zona neutra; **2**: pressione positiva; **3**: pressione negativa; **h**: distanza dalla zona neutra in metri.

La posizione della zona neutra può variare in funzione delle eventuali fessure presenti nell'edificio. Se le fessure sono distribuite uniformemente in senso verticale, questa zona si troverà circa a metà dell'edificio. Se vi sono più fessure nella parte inferiore dell'edificio, la zona neutra si sposterà verso il basso. Se vi sono più fessure nella parte superiore, si sposterà verso l'alto. Qualora vi sia un camino che si apre sul tetto, ciò ha un effetto considerevole sulla posizione della zona neutra, e il risultato può essere una pressione negativa in tutto l'edificio. Questa situazione è più frequente negli edifici di piccole dimensioni.

Negli edifici più grandi, come gli alti edifici a uso industriale, con fessure alle porte e alle eventuali finestre presenti nella parte inferiore, la zona neutra si trova a circa un terzo dell'altezza dell'edificio.

### 15.3.5 Condizioni di misurazione e stagione di misurazione

Quanto spiegato nelle sezioni precedenti può essere riepilogato come segue per quanto riguarda le condizioni di misurazione in cui eseguire le ispezioni termografiche degli edifici.

Le immagini termiche sono realizzate in modo da minimizzare il più possibile l'interferenza causata da fattori climatici esterni. Il rilevamento delle immagini è quindi realizzato all'interno: le superfici calde della struttura sono esaminate dal lato dove l'edificio è riscaldato.

La termografia esterna è utilizzata solo per ottenere misurazioni di riferimento di grandi superfici di facciate. In determinati casi, ad esempio dove l'isolamento termico è molto scarso o dove vi è una pressione interna positiva, possono essere utili misurazioni delle superfici esterne. Anche quando si indaga sugli effetti di installazioni situate all'interno dell'ambiente climatico dell'edificio, possono esservi motivi che giustificano il rilevamento di immagini termiche all'esterno dell'edificio.

Si consigliano le seguenti condizioni:

- La differenza di temperatura dell'aria nella parte pertinente dell'edificio deve essere di almeno  $+10^{\circ}\text{C}$  già da alcune ore prima del processo di imaging termografico e per tutto il tempo dell'ispezione. Nello stesso intervallo di tempo la differenza di temperatura ambiente non deve variare di oltre il  $\pm 30\%$  rispetto al momento dell'inizio del processo di imaging termografico. Durante il processo, la temperatura ambiente interna non deve variare di oltre  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .
- Per diverse ore prima dell'acquisizione delle immagini termiche e finché questa continua, evitare di esporre alla luce solare la parte dell'edificio da ispezionare.
- Pressione negativa all'interno della struttura  $\approx 10\text{--}50\text{ Pa}$ .
- Quando si esegue il processo di imaging termografico per individuare solo infiltrazioni di aria nelle sezioni perimetrali dell'edificio, i requisiti in termini di condizioni di misurazione possono essere meno vincolanti. Una differenza di  $5^{\circ}\text{C}$  fra le temperature ambiente interna ed esterna dovrebbe essere sufficiente per il rilevamento di problemi. Per poter individuare infiltrazioni di aria, devono comunque essere rispettati alcuni requisiti in termini di pressione differenziale.  $10\text{ Pa}$  dovrebbero essere sufficienti.

### 15.3.6 Interpretazione delle immagini termiche

Lo scopo principale della termografia è quello di individuare difetti e problemi di isolamento termico nei muri esterni e nelle pavimentazioni e di determinarne la natura e l'estensione. L'attività di misurazione può essere impostata anche in modo da utilizzare l'ispezione termografica per confermare se il muro esaminato presenta le caratteristiche di isolamento e impermeabilità all'aria dichiarate. Le "caratteristiche di isolamento termico dichiarate" per il muro nel progetto possono essere convertite in

una distribuzione della temperatura prevista per la superficie sottoposta a ispezione se si conoscono le condizioni di misurazione del momento in cui sono stati eseguiti i rilevamenti.

In pratica, il metodo comporta i seguenti passaggi:

Si utilizzano prove di laboratorio o sul campo per produrre una distribuzione prevista della temperatura sotto forma di immagini termiche tipiche o comparative di comuni strutture murarie, comprendenti sia strutture prive di difetti, sia strutture con difetti incorporati.

Esempi di tipiche immagini termiche sono mostrati nella sezione 15.2 – Tipiche ispezioni sul campo a pagina 51.

Se si intende utilizzare come immagini di confronto le immagini termiche di sezioni strutturali acquisite durante le misurazioni sul campo, è necessario conoscere nel dettaglio e documentare la composizione della struttura, il modo in cui è stata costruita e le condizioni di misurazione al momento dell'acquisizione dell'immagine termica.

Per poter essere in grado, durante la termografia, di commentare le cause delle deviazioni dai risultati attesi, devono essere noti i requisiti tecnici relativi agli aspetti fisici, metrologici e strutturali.

L'interpretazione delle immagini termiche acquisite durante le misurazioni sul campo può essere descritta brevemente come segue:

Si seleziona un'immagine termica di confronto relativa a una struttura priva di difetti, sulla base della struttura del muro sotto esame e delle condizioni nelle quali è stata acquisita la misurazione sul campo. Si confronta quindi un'immagine termica dell'elemento architettonico sotto esame con l'immagine termica selezionata. Eventuali deviazioni che non possano essere spiegate in base al disegno della struttura o alle condizioni di misurazione sono registrate come sospetto difetto di isolamento. La natura e l'estensione del difetto sono normalmente determinate utilizzando immagini termiche di confronto che illustrano vari difetti.

Se non è disponibile un'immagine termica di confronto adatta, l'analisi e la valutazione sono condotte sulla base dell'esperienza. Ciò richiede un ragionamento più preciso durante l'analisi.

Per la valutazione di un'immagine termica occorre prendere in considerazione i seguenti aspetti:

- Luminosità uniforme delle immagini termiche di superfici prive di ponti termici
- Regolarità e presenza di superfici fredde, ad esempio in corrispondenza di montanti e angoli
- Contorni e forme caratteristiche delle zone fredde

- Differenze di temperatura misurate tra la normale temperatura superficiale della struttura e le zone fredde selezionate
- Continuità e uniformità dell'isoterma sulla superficie della struttura. Nel software della termocamera la funzione di isoterma è denominata **Isoterma** o **Colore allarme**, a seconda del modello della termocamera.

Deviazioni e irregolarità nell'aspetto dell'immagine termica indicano spesso difetti di isolamento. Vi possono essere, ovviamente, variazioni considerevoli nell'aspetto delle immagini termiche di strutture con difetti di isolamento. Determinati tipi di difetti di isolamento presentano una forma caratteristica nell'immagine termica.

Nella sezione 15.2 – Tipiche ispezioni sul campo a pagina 51 sono mostrati esempi di immagini termiche interpretate.

Durante l'ispezione termografica di uno stesso edificio, le immagini termiche di aree diverse devono essere acquisite con le stesse impostazioni della termocamera, in quanto ciò facilita il confronto delle varie aree.

### 15.3.7 Umidità e punto di rugiada

#### 15.3.7.1 Umidità relativa e assoluta

L'umidità può essere espressa in due modi diversi, ovvero come *umidità relativa* o come *umidità assoluta*. L'umidità relativa viene espressa come percentuale di acqua che può essere contenuta in un dato volume di aria a una data temperatura, mentre l'umidità assoluta viene espressa come percentuale di acqua per peso di materiale. Questa seconda modalità di espressione dell'umidità è comune quando si misura l'umidità del legno e di altri materiali da costruzione.

Più è elevata la temperatura dell'aria, maggiore è la quantità d'acqua che un dato volume d'aria è in grado di contenere. La tabella che segue specifica le quantità massime d'acqua nell'aria a diverse temperature.

**Figura 15.6 A:** Temperatura in gradi Celsius; **B:** Massima quantità d'acqua espressa in g/m<sup>3</sup> (al livello del mare)

A	B	A	B	A	B	A	B
30,0	30,44	20,0	17,33	10,0	9,42	0,0	4,86
29,0	28,83	19,0	16,34	9,0	8,84	-1,0	4,49
28,0	27,29	18,0	15,40	8,0	8,29	-2,0	4,15
27,0	25,83	17,0	14,51	7,0	7,77	-3,0	3,83
26,0	24,43	16,0	13,66	6,0	7,28	-4,0	3,53
25,0	23,10	15,0	12,86	5,0	6,81	-5,0	3,26
24,0	21,83	14,0	12,09	4,0	6,38	-6,0	3,00

A	B	A	B	A	B	A	B
23,0	20,62	13,0	11,37	3,0	5,96	-7,0	2,76
22,0	19,47	12,0	10,69	2,0	5,57	-8,0	2,54
21,0	18,38	11,0	10,04	1,0	5,21	-9,0	2,34

**Figura 15.7** **A:** Temperatura in gradi Fahrenheit; **B:** Massima quantità d'acqua espressa in gr/piedi<sup>3</sup> (al livello del mare)

A	B	A	B	A	B	A	B
86,0	13,30	68,0	7,58	50,0	4,12	32,0	2,12
84,2	12,60	66,2	7,14	48,2	3,86	30,2	1,96
82,4	11,93	64,4	6,73	46,4	3,62	28,4	1,81
80,6	11,29	62,6	6,34	44,6	3,40	26,6	1,67
78,8	10,68	60,8	5,97	42,8	3,18	24,8	1,54
77,0	10,10	59,0	5,62	41,0	2,98	23,0	1,42
75,2	9,54	57,2	5,29	39,2	2,79	21,2	1,31
73,4	9,01	55,4	4,97	37,4	2,61	19,4	1,21
71,6	8,51	53,6	4,67	35,6	2,44	17,6	1,11
69,8	8,03	51,8	4,39	33,8	2,28	15,8	1,02

*Esempio:*

L'umidità relativa di un determinato volume di aria a una temperatura di +30°C è del 40%. Quantità di acqua in 1 m<sup>3</sup> di aria a 30°C = 30,44 × Umidità relativa = 30,44 × 0,40 = 12,18 g.

### 15.3.7.2 Definizione di punto di rugiada

Il punto di rugiada è la temperatura a cui l'umidità contenuta in un dato volume di aria si condensa sotto forma di acqua liquida.

*Esempio:*

L'umidità relativa di un determinato volume di aria a una temperatura di +30°C è del 40%. Quantità di acqua in 1 m<sup>3</sup> di aria a 30°C = 30,44 × Umidità relativa = 30,44 × 0,40 = 12,18 g. Nella tabella sopra riportata cercare a quale temperatura la quantità di acqua nell'aria si avvicina maggiormente a 12,18 g. Tale temperatura è +14,0°C, ovvero il punto di rugiada approssimativo.

### **15.3.8 Estratto dalla nota tecnica 'Valutazione di ponti termici e continuità di isolamento' (esempio Regno Unito)**

#### **15.3.8.1 Riconoscimenti**

Questa nota tecnica è stata realizzata da un gruppo di lavoro di cui fanno parte esperti operatori e consulenti di ricerca. I contributi ulteriori forniti da altre persone e organizzazioni fanno sì che questo documento sia ampiamente accettato da tutte le industrie del settore.

Il contenuto di questa Nota tecnica è riprodotto per gentile concessione di United Kingdom Thermography Association (UKTA) che ne detiene il copyright.

UK Thermography Association  
c/o British Institute of Nondestructive Testing  
1 Spencer Parade  
Northampton NN1 5AA  
Regno Unito

Tel: +44 (0)1604 630124

Fax: +44 (0)1604 231489

#### **15.3.8.2 Introduzione**

Negli ultimi anni si è assistito a un eccezionale sviluppo delle apparecchiature, delle applicazioni, del software e delle conoscenze in campo termografico. Al processo di integrazione graduale della tecnologia nelle pratiche fondamentali, si è accompagnata una richiesta crescente di linee guida applicative, standard e formazione per la termografia.

L'associazione britannica UKTA pubblica questa nota tecnica con lo scopo di stabilire un approccio omogeneo alla quantificazione dei risultati per la valutazione della "continuità dell'isolamento termico". Per dare agli operatori termografici qualificati gli strumenti appropriati per la stesura di rapporti positivi o negativi, i redattori delle specifiche dovrebbero fare riferimento a questo documento come guida per l'adempimento dei requisiti del regolamento edilizio.

#### **15.3.8.3 Informazioni preliminari**

La termografia è in grado di rilevare le variazioni della temperatura superficiale dell'ordine di 0,1 K. La distribuzione della temperatura sulle superfici degli edifici può essere illustrata tramite immagini grafiche.

Le variazioni delle proprietà termiche delle strutture degli edifici, ad esempio parti di isolamento mancanti o messe in opera non correttamente, danno origine a variazioni della temperatura superficiale su entrambi i lati della struttura. Tale comportamento le rende visibili all'ispezione termografica. Sono molti i fattori che possono contribuire alle variazioni della temperatura superficiale: fonti di calore, riflessi e fughe d'aria.

Il giudizio professionale dell'operatore è normalmente un requisito per una corretta distinzione tra i problemi reali e le altre fonti di variazione della temperatura. Gli operatori sono sempre più spesso chiamati a motivare le loro analisi sulle strutture e, in mancanza di linee guida efficaci, possono incontrare difficoltà nel definire i livelli di accettazione o rifiuto di talune variazioni.

Lo standard corrente per l'imaging termico delle strutture edilizie nel Regno Unito è BS EN 13187:1999 (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method (ISO 6781:1983 modificato). Tale standard, tuttavia, lascia spazio all'esperienza professionale dell'operatore per quanto attiene all'interpretazione dell'immagine termica e fornisce linee guida poco solide per individuare la differenza tra variazioni accettabili e inaccettabili. Linee guida sull'aspetto di una gamma di anomalie termiche sono reperibili in BINDT Guides to thermal imaging (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005).

#### **15.3.8.3.1**      *Requisiti*

Un'analisi termografica per la dimostrazione della continuità dell'isolamento, delle aree di ponti termici e della conformità con il regolamento edilizio, dovrebbe includere quanto specificato di seguito:

- Anomalie termiche.
- Differenziazione tra anomalie termiche effettive, dove le differenze di temperatura sono causate da carenze nell'isolamento termico, e quelle che si verificano a causa di fattori estranei, quali differenze localizzate di circolazione dell'aria, riflessi ed emissività.
- Quantificazione delle aree interessate in rapporto alle aree isolate totali.
- Valutazione sull'accettabilità complessiva delle anomalie rispetto all'isolamento termico dell'edificio.

#### **15.3.8.4**      *Stima quantitativa delle anomalie termiche*

L'analisi termografica mette in luce le differenze tra la temperatura apparente di aree all'interno di un campo visivo. Affinché risulti utile, tuttavia, devono essere sistematicamente rilevati tutti i difetti apparenti. Questi ultimi vanno poi valutati a fronte di una

griglia di criteri predeterminata. Le anomalie non attribuibili a difetti reali devono essere rimosse, le altre vanno valutate e i risultati raccolti in una relazione da presentare al cliente.

#### 15.3.8.4.1 Selezione dei parametri di temperatura critici

L'informativa BRE IP17/01 (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) fornisce utili linee guida sulle temperature minime accettabili per le superfici interne e valori appropriati per il Critical Surface Temperature Factor,  $f_{CRsi}$ . L'utilizzo di un fattore di temperatura superficiale consente di eseguire analisi in qualsiasi condizione termica, allo scopo di individuare le aree a rischio di condensa o formazione di muffa in condizioni di progetto.

La temperatura superficiale reale dipende fortemente dalle temperature interne ed esterne al momento dell'analisi, ma un "fattore di temperatura superficiale" ( $f_{Rsi}$ ) è stato creato per essere indipendente dalle condizioni assolute. Si tratta di un rapporto del calo di temperatura sulla struttura dell'edificio rispetto alla caduta di temperatura totale tra l'aria interna e quella esterna.

Per analisi interne:  $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

$T_{si}$  = temperatura superficiale interna

$T_i$  = temperatura dell'aria interna

$T_e$  = temperatura dell'aria esterna

Un valore di 0,75 per  $f_{CRsi}$  è considerato appropriato per i nuovi edifici, dato che l'utilizzo nella parte superiore non è un fattore preso in considerazione nei test per la "continuità di isolamento" o i "ponti termici". Quando invece si prendono in considerazione edifici ristrutturati o ampliati, ad esempio una piscina, le analisi interne possono richiedere la valutazione di circostanze inusuali.

#### 15.3.8.4.2 Metodo alternativo con il solo utilizzo delle temperature superficiali

Esistono validi motivi per basare le analisi termografiche solo sulle temperature superficiali, senza necessità di misurare la temperatura dell'aria.

- La stratificazione all'interno degli edifici rende molto difficoltoso il riferimento alle temperature dell'aria interna. Quale temperatura dell'aria deve essere utilizzata: quella media, il livello basso, quello alto o la temperatura a livello dell'anomalia? E a che distanza dal muro deve essere effettuata la misurazione?
- Gli effetti della radiazione, ad esempio quella verso il cielo della notte, rendono difficile l'utilizzo della temperatura dell'aria esterna. Non è raro che la superficie esterna della struttura di un edificio sia inferiore alla temperatura dell'aria a causa

della radiazione verso il cielo che può essere bassa fino a  $-50^{\circ}\text{C}$ . Questo effetto può essere notato a occhio nudo: spesso sulle superfici compare condensa o ghiaccio anche quando la temperatura dell'aria non è scesa sotto il punto di rugiada.

- Notare che il concetto dei valori U è basato sulle “temperature ambientali” su entrambi i lati della struttura, fatto spesso trascurato da analisti inesperti.
- Le due temperature che sono strettamente correlate al trasferimento di calore attraverso la struttura degli edifici, e di qualsiasi solido, sono le temperature superficiali su ciascun lato.
- Di conseguenza, con il riferimento alle temperature superficiali, l'analisi risulta più ripetibile.
- Le temperature utilizzate sono le medie delle temperature superficiali sullo stesso materiale in un'area circostante l'anomalia, all'interno e all'esterno della struttura. In concomitanza con la temperatura dell'anomalia, è possibile stabilire un livello di soglia dipendente da tali temperature, grazie al fattore di temperatura superficiale critico.
- Tali argomentazioni non escludono il fatto che l'operatore deve essere cosciente dei riflessi degli oggetti a temperature inusuali, sullo sfondo di fronte alle superfici della struttura dell'edificio.
- È inoltre consigliabile eseguire un confronto tra le facce esterne rivolte in direzioni diverse per stabilire se sussiste del calore residuo derivante dall'irraggiamento solare che può influenzare le superfici esterne.
- Le analisi esterne non devono essere condotte su superfici in cui  $T_{si} - T_{so}$  sulla facciata è oltre il 10% superiore a  $T_{si} - T_{so}$  sulla facciata esposta a Nord o a quella più vicina ad essa.
- Per un difetto che causa una non conformità alla condizione 0,75 di IP17/01, i fattori di superficie critici sono 0,78 sulla superficie interna e 0,93 su quella esterna.

La tabella riportata di seguito illustra le temperature superficiali interne ed esterne in corrispondenza di un'anomalia, che porterebbero alla non conformità a IP17/01. Viene inoltre riportato il deterioramento dell'isolamento termico necessario per condurre a questa condizione.

<b>Esempio di facciata con rivestimento leggero e con isolamento difettoso</b>	<b>Area conforme</b>	<b>Area carente</b>
Temperatura esterna in $^{\circ}\text{C}$	0	0
Temperatura superficiale interna in $^{\circ}\text{C}$	19,1	15,0
Temperatura superficiale esterna in $^{\circ}\text{C}$	0,3	1,5
Fattore di superficie secondo IP17/01	0,95	0,75
Fattore di temperatura superficiale esterna critica, secondo IP17/01		0,92

<b>Esempio di facciata con rivestimento leggero e con isolamento difettoso</b>	<b>Area conforme</b>	<b>Area carente</b>
Spessore dell'isolamento che produce questo livello prestazionale, mm	80	5,1
Valore U locale W/m <sup>2</sup> K	0,35	1,92
UKTA TN1 - Fattore di superficie		0,78
UKTA TN1 - Fattore di superficie esterna		0,93

### Note sulla tabella

1 I valori delle resistenze superficiali presi da ADL2 2001, sono:

- Superficie interna 0,13 m<sup>2</sup>K/W
- Superficie esterna 0,04 m<sup>2</sup>K/W

Derivazione dei dati: BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method).

2 L'isolamento termico utilizzato in questo esempio ha una conduttività presupposta di 0,03 W/m K.

3 La differenza di temperatura tra un'anomalia e le aree conformi è di 1,2 gradi all'esterno e di 4,1 gradi all'interno.

4 Il fattore di temperatura superficiale UKTA TN1 per le analisi interne è:

$$F_{si} = (T_{sia} - T_{so}) / (T_{si} - T_{so})$$

dove:

$T_{sia}$  = temperatura superficiale interna sull'anomalia

$T_{so}$  = temperatura superficiale esterna (area conforme)

$T_{si}$  = temperatura superficiale interna (area conforme)

5 Il fattore di temperatura superficiale UKTA TN1 per le analisi esterne è:

$$F_{so} = (T_{soa} - T_{si}) / (T_{so} - T_{si})$$

dove  $T_{soa}$  = temperatura superficiale esterna sull'anomalia

#### 15.3.8.4.3 Selezione dell'area massima difettosa accettabile

L'area difettosa accettabile attiene al controllo di qualità. Si potrebbe obiettare che nessun'area dovrebbe presentare condensa, formazione di muffa o isolamento difettoso e che qualsiasi anomalia di questo genere dovrebbe essere inclusa nella relazione. Tuttavia è generalmente accettato un valore dello 0,1% delle superfici esposte dell'edificio come area massima combinata difettosa ammessa per la conformità al Regolamento edilizio. Ovvero un metro quadrato ogni mille.

#### **15.3.8.4.4 Misurazione della temperatura superficiale**

La misurazione della temperatura superficiale è una funzione del sistema di imaging termico. L'operatore esperto è in grado di riconoscere, valutare e riferire le variazioni di emissività e riflettività delle superfici prese in esame.

#### **15.3.8.4.5 Misurazione delle aree dei difetti**

La misurazione delle aree difettose può essere eseguita tramite conteggio dei pixel nel software di analisi termica o per mezzo della maggior parte dei pacchetti basati su fogli di calcolo, purché siano rispettate le condizioni seguenti:

- la distanza tra la termocamera e l'oggetto sia misurata accuratamente, preferibilmente con un'apparecchiatura di misurazione laser;
- la distanza dell'oggetto interessato tenga conto dell'IFOV del sistema di imaging;
- qualsiasi variazione angolare rispetto alla perpendicolare tra la termocamera e la superficie dell'oggetto venga presa in considerazione.

Gli edifici sono costituiti da numerose caratteristiche costruttive che non facilitano le analisi quantitative, tra cui le finestre, gli abbaini, insegne luminose, emettitori di calore, apparecchiature di raffreddamento, tubature di servizio e conduttori elettrici. I collegamenti e le parti di collegamento tra questi oggetti, tuttavia, devono essere presi in considerazione ai fini dell'analisi.

#### **15.3.8.5 Condizioni e apparecchiature**

Per ottenere i migliori risultati da un'analisi dell'isolamento termico, è importante prendere in considerazione le condizioni ambientali e utilizzare le tecniche termografiche più appropriate.

Le anomalie termiche si riveleranno all'operatore solo laddove esistono differenze di temperatura, tenuto conto dei fenomeni ambientali. Le condizioni riportate di seguito rappresentano il livello minimo a cui adeguarsi.

- Differenze di temperatura sulla struttura dell'edificio maggiori di 10°C.
- Temperature dell'aria interna e di quella ambiente con una differenza superiore a 5°C per le ultime 24 ore prima dell'analisi.
- Temperatura dell'aria esterna entro  $\pm 3^\circ\text{C}$  per la durata dell'analisi e per l'ora precedente.
- Temperatura dell'aria esterna entro  $\pm 10^\circ\text{C}$  per le precedenti 24 ore.

Le analisi esterne devono inoltre essere conformi ai requisiti seguenti:

- Le superfici interessate senza irraggiamento solare diretto e prive degli effetti residui della radiazione solare passata. È possibile verificare questa condizione confrontando le temperature superficiali dei lati opposti dell'edificio.
- Nessuna precipitazione subito prima o durante l'analisi.
- Verifica che tutte le superfici dell'edificio da ispezionare siano asciutte.

- Velocità del vento inferiore a 10 metri/secondo (19,5 kn sulla scala di Beaufort).

Quando si programma un'analisi termografica di un edificio, è necessario tenere in considerazione anche altre condizioni ambientali, oltre alla temperatura. Le ispezioni esterne, ad esempio, possono essere influenzate da emissioni di radiazioni e riflessi provenienti da edifici adiacenti o da un cielo terso e freddo. L'effetto di riscaldamento dell'irraggiamento solare sulle superfici può essere un fattore ancora più determinante.

Oltre a ciò, quando le temperature di sfondo si discostano dalle temperature dell'aria, interna o esterna, di più di 5 K, quelle di sfondo devono essere misurate su tutte le superfici interessate per ottenere una temperatura superficiale sufficientemente accurata.

#### 15.3.8.6 *Indagine e analisi*

**Di seguito vengono riportate alcune linee guida operative destinate all'operatore.**

Durante l'analisi è necessario raccogliere informazioni termografiche sufficienti per dimostrare che tutte le superfici sono state ispezionate allo scopo di rilevare e valutare tutte le anomalie termiche.

Come per qualsiasi analisi termografica, il passo iniziale è quello di raccogliere i dati ambientali necessari riportati di seguito.

- Temperatura interna nella regione dell'anomalia.
- Temperatura esterna nella regione dell'anomalia.
- Emissività della superficie.
- Temperatura di sfondo.
- Distanza dalla superficie.

Per interpolazione, determinare la temperatura soglia da utilizzare.

- Per analisi interne, la temperatura superficiale di soglia ( $T_{sia}$ ) è  $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$ . L'operatore cercherà la prova della temperatura superficiale al di sotto di questa soglia.
- Per analisi esterne, la temperatura di soglia ( $T_{soa}$ ) è  $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$ . L'operatore cercherà la prova della temperatura superficiale al di sopra di questa soglia.

Le immagini delle anomalie devono essere acquisite in modo tale che risultino appropriate per l'analisi:

- I bordi dell'immagine devono essere paralleli ai bordi del muro o del tetto.
- L'angolo di visualizzazione è quasi perpendicolare alla superficie da rappresentare. Le sorgenti di interferenza di radiazione infrarossa, luci, emettitori di calore, conduttori elettrici, elementi riflettenti, devono essere ridotte al minimo.

Il metodo di analisi dipenderà in una certa misura dal software di analisi utilizzato, ma le fasi chiave sono le seguenti:

Produrre un'immagine di ogni anomalia o gruppo di anomalie.

- Utilizzare uno strumento di analisi software per circoscrivere all'interno dell'immagine l'area anomala, facendo attenzione a non includere dettagli costruttivi non pertinenti.
- Calcolare l'area al di sotto della temperatura di soglia per le analisi interne o al di sopra della temperatura di soglia per quelle esterne. Tale area corrisponde alla zona difettosa. Alcune anomalie che apparivano come aree difettose al momento dell'analisi, potrebbero non esserlo in questa fase.
- Aggiungere le aree difettose da tutte le immagini  $\sum A_d$ .
- Calcolare l'area totale della struttura esposta dell'edificio, ovvero la superficie dei muri e del tetto. Per convenzione si utilizza l'area della superficie esterna. Per un edificio di forma semplice, il calcolo si effettua sulla base della larghezza, lunghezza e altezza.
 
$$A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$$
- Identificare l'area difettosa critica  $A_c$ . Provvisoriamente viene stabilita a un millesimo o 0,1% dell'area totale della superficie.
 
$$A_c = A_t/1000$$
- Se  $\sum A_d < A_c$  l'edificio nel suo insieme può essere considerato con isolamento "ragionevolmente continuo".

#### 15.3.8.7 Creazione di report

La relazione deve stabilire un risultato positivo o negativo, rispondere ai requisiti del cliente e includere almeno le informazioni stabilite in BSEN 13187. I dati che seguono sono generalmente richiesti per consentire la ripetitività dell'analisi dopo l'azione correttiva.

- Basi dell'obiettivo e dei principi del test.
- Posizione, orientamento, data e ora dell'analisi.
- Un riferimento di identificazione univoco.
- Nome e qualifiche dell'operatore.
- Tipo di costruzione.
- Condizioni meteorologiche, velocità e direzione del vento, data dell'ultima precipitazione, luce solare, grado di copertura del cielo.
- Temperature ambiente interna ed esterna prima, all'inizio dell'analisi e al momento di ogni immagine. Registrazione della temperatura dell'aria e radiante.
- Registrazione di qualsiasi scostamento dai requisiti di test pertinenti.
- Apparecchiatura utilizzata, data dell'ultima taratura, qualsiasi difetto noto.
- Nome, associazione e qualifiche dell'operatore.
- Tipo, gravità e posizione di tutti i difetti osservati.
- Risultati di tutte le misurazioni e indagini supplementari.

- Le relazioni devono essere catalogate e archiviate dagli operatori.

#### **15.3.8.7.1      *Considerazioni e limitazioni***

La scelta tra analisi interna e analisi esterna dipende dalle seguenti condizioni:

- Accesso alla superficie. Gli edifici che presentano superfici esterne e interne non esposte, ad esempio controsoffitti o materiali accatastati contro i muri, potrebbero non essere sottofondibili a questo tipo di analisi.
- Posizionamento dell'isolamento termico. Le analisi risultano normalmente più efficaci dal lato più vicino all'isolamento termico.
- Posizione di materiali pesanti. Le analisi sono in genere meno efficienti dal lato più vicino a materiali pesanti.
- Scopo dell'analisi. L'analisi dovrebbe essere di tipo interno se ha lo scopo di individuare il rischio di formazione di condensa o di muffa.
- Posizione di vetrate, metallo nudo o altri materiali che possono avere grande riflettività. Le analisi sono in genere meno efficienti su superfici altamente riflettive.
- Un difetto produce in genere una differenza di temperatura inferiore sul lato esterno di un muro esposto al movimento dell'aria esterna. Tuttavia, isolamento difettoso o mancante vicino alla superficie esterna può essere spesso più facilmente identificabile esternamente.

## 15.4 Declinazione di responsabilità

### 15.4.1 Informazioni sul copyright

Il copyright di alcune sezioni e/o immagini presenti in questo capitolo appartiene alle seguenti organizzazioni e società:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

### 15.4.2 Formazione e certificazione

**Per eseguire ispezioni di termografia edilizia è necessario aver seguito appositi corsi di formazione e aver acquisito una certa esperienza nel settore. Potrebbe inoltre essere necessaria una certificazione rilasciata da un ente di standardizzazione nazionale o regionale. In questa sezione è stata fornita solo un'introduzione alla termografia edilizia. L'utente è pertanto tenuto a seguire corsi di formazione specifici sull'argomento.**

**Per ulteriori informazioni sulla formazione in materia di infrarossi, visitare il sito Web seguente:**

**<http://www.infraredtraining.com>**

### 15.4.3 Normativa edilizia nazionale o regionale

Le strutture edilizie con commenti illustrate in questo capitolo possono presentare differenze di costruzione da paese a paese. Per ulteriori informazioni sui dettagli di costruzione e sugli standard procedurali, consultare sempre i regolamenti edilizi nazionali o regionali.

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 16 Introduzione alle ispezioni termografiche di impianti elettrici

## 16.1 *Nota importante*

A seconda della particolare configurazione della termocamera di cui si dispone, è possibile che non siano supportate tutte le funzioni e le caratteristiche descritte in questa sezione.

Le normative relative ai materiali elettrici variano da paese a paese. Le procedure descritte in questa sezione potrebbero quindi non rappresentare lo standard prescritto nel proprio paese di residenza. In numerosi paesi nei quali vengono effettuate ispezioni sulle attrezzature elettroniche potrebbe essere inoltre necessaria un'omologazione formale. Consultare sempre le normative in materia locali e nazionali.

## 16.2 *Informazioni generali*

### 16.2.1 **Introduzione**

Oggi la termografia è una tecnica consolidata per l'ispezione di impianti elettrici. Questa, tra l'altro, è stata la prima e continua a essere la principale applicazione della termografia. La stessa tecnologia delle termocamere ha avuto un vero e proprio boom e attualmente è disponibile ormai l'ottava generazione di sistemi termografici. Tutto ha avuto inizio nel 1964, ovvero più di 40 anni fa. Ora questa tecnica si è definitivamente affermata in tutto il mondo ed è stata adottata sia nei paesi industrializzati che in quelli in via di sviluppo.

La termografia, insieme all'analisi delle vibrazioni, è stata negli ultimi decenni il principale metodo utilizzato per la diagnostica dei guasti nel settore industriale nell'ambito di un programma di manutenzione preventiva. Questi metodi offrono un enorme vantaggio: è possibile eseguire ispezioni su impianti in funzione senza interrompere il processo di produzione in corso. La normale condizione di funzionamento è infatti un prerequisito per ottenere un risultato di misurazione corretto. Per l'ispezione termografica di impianti elettrici esistono tre principali campi di applicazione:

- Generazione di energia elettrica
- Trasmissione di energia elettrica
- Distribuzione di energia elettrica, ovvero utilizzo industriale dell'energia.

Il fatto che questi controlli vengano eseguiti in condizioni di funzionamento normale ha creato una naturale differenziazione fra queste applicazioni. Nelle aziende per la generazione di energia elettrica le misurazioni vengono effettuate nei periodi di

maggiore carico. Questi periodi variano a seconda dei paesi e delle zone climatiche. I periodi di misurazione possono variare anche a seconda del tipo di centrale da ispezionare, ad esempio idroelettrica, nucleare, a carbone o a olio combustibile.

Nel settore industriale, specialmente nei paesi nordici con importanti differenze di temperatura tra le diverse stagioni, le ispezioni vengono eseguite in primavera, in autunno o prima di lunghi periodi di interruzione dell'attività produttiva. In questo modo gli interventi di riparazione vengono effettuati quando l'attività produttiva è comunque ferma. Questa regola tuttavia viene applicata sempre meno e le ispezioni delle centrali vengono eseguite con diverse condizioni di carico e di funzionamento.

### 16.2.2 Dati generali dell'impianto

Gli impianti da ispezionare sono soggetti a un determinato comportamento in termini di temperatura che deve essere noto all'operatore prima dell'ispezione. Nel caso di impianti elettrici, è risaputo il principio fisico per il quale i guasti presentano un diverso andamento della temperatura a causa dell'aumento della resistenza o della corrente elettrica.

È utile tuttavia ricordare che in alcuni casi, ad esempio nei solenoidi, il 'surriscaldamento' è naturale e non indica la presenza di un difetto. In altri casi, ad esempio nei contatti dei motori elettrici, il surriscaldamento può dipendere dal fatto che tutto il carico viene svolto dal componente che funziona correttamente e che quindi si surriscalda.

Un esempio analogo è riportato nella sezione 16.5.7 – Surriscaldamento di un componente causato da un guasto in un altro componente a pagina 116.

Nelle parti difettose di un impianto elettrico pertanto è possibile osservare due tipi di reazioni diverse: surriscaldamento o temperatura inferiore rispetto ai componenti che funzionano correttamente. È perciò necessario essere preparati a tutte le evenienze del caso e, a tale scopo, raccogliere tutte le informazioni possibili sull'impianto prima di procedere all'ispezione.

In ogni caso, come regola generale, un punto caldo è causato da un probabile difetto. La temperatura e il carico di un componente specifico al momento dell'ispezione saranno indicativi della gravità del guasto e delle possibili evoluzioni in altre condizioni.

Per una valutazione corretta di ogni caso specifico, è necessario raccogliere informazioni dettagliate sul comportamento termico dei componenti, ovvero conoscere la temperatura massima consentita per i materiali utilizzati e il ruolo svolto dal componente all'interno del sistema.

Gli isolanti dei cavi ad esempio perdono le proprietà isolanti al di sopra di una determinata temperatura, con il conseguente aumento del rischio di incendi.

Nel caso degli interruttori, se la temperatura è troppo alta, i componenti possono fondersi e impedire l'apertura dell'interruttore, danneggiandone la funzionalità.

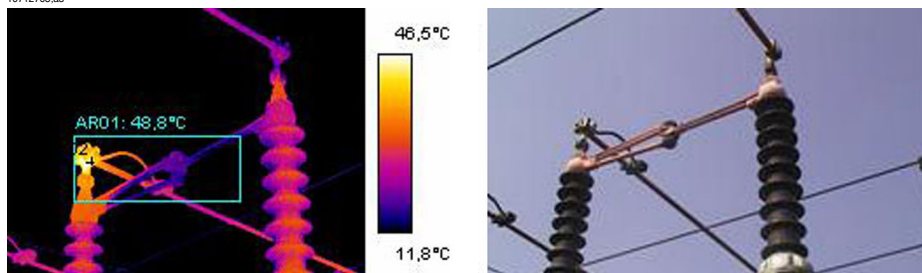
La quantità di informazioni raccolte dall'operatore della termocamera in merito all'impianto da sottoporre a ispezione è direttamente proporzionale alla qualità dell'ispezione. È tuttavia praticamente impossibile per un operatore conoscere in modo completo tutti i diversi tipi di impianti da controllare. È pertanto una pratica comune eseguire l'ispezione alla presenza di un responsabile dell'impianto.

### 16.2.3 Ispezione

Tra le attività di preparazione dell'ispezione è inclusa la scelta del tipo corretto di report. È spesso necessario utilizzare attrezzature complementari, ad esempio gli amperometri, per misurare la corrente nei circuiti in cui possono essere presenti componenti difettosi. È necessario inoltre poter disporre di un anemometro per misurare la velocità del vento in caso di ispezioni di impianti all'aperto.

Le funzioni automatiche consentono all'operatore della termocamera di visualizzare un'immagine termica dei componenti con il contrasto appropriato per individuare senza difficoltà la presenza di un guasto o di un punto caldo. È praticamente impossibile non accorgersi di un punto caldo in un componente sottoposto a scansione. Una funzione di misurazione consentirà inoltre di visualizzare automaticamente il punto più caldo in un'area dell'immagine o la differenza tra la temperatura massima nell'area selezionata e una temperatura di riferimento che può essere scelta dall'operatore, ad esempio la temperatura ambiente.

10712703.a3



**Figura 16.1** Immagine termica e foto di un isolatore di linea elettrica

Una volta identificato con sicurezza il guasto e dopo che l'operatore della termocamera si è accertato che non si tratta di un riflesso o di un punto caldo che si verifica naturalmente, ha inizio la fase di raccolta dei dati, che consente la corretta segnalazione del guasto. Nel report verranno segnalati i dati relativi all'emissività, al tipo di componente e alle effettive condizioni di funzionamento, insieme alla temperatura misurata. Per facilitare l'identificazione del componente, viene spesso scattata una foto della parte difettosa.

## 16.2.4 Classificazione e creazione di report

La preparazione di report è sempre stata la fase che richiedeva più tempo nell'ambito di un'ispezione a infrarossi. Un'ispezione di un giorno poteva comportare uno o due giorni di lavoro per segnalare e classificare i difetti individuati. Questa situazione è rimasta immutata per molti operatori di termocamere che hanno scelto di non avvalersi dei vantaggi offerti dai computer e dai moderni software di generazione di report per il monitoraggio di condizioni tramite gli infrarossi.

La classificazione dei difetti consente di fornire una spiegazione più dettagliata tenendo conto non solo della situazione riscontrata al momento dell'ispezione, ma anche della possibilità di normalizzare la sovratemperatura ripristinando le condizioni standard di temperatura ambiente e carico.

Una sovratemperatura di +30°C indica certamente la presenza di un guasto significativo, ma se questa sovratemperatura è valida per un componente che funziona con un carico del 100% e per un altro che funziona con un carico del 50%, è ovvio che quest'ultimo farebbe registrare una temperatura ancora maggiore se il carico dovesse passare dal 50% al 100%. Questo standard può essere scelto in base alle circostanze dell'impianto. Molto spesso tuttavia le previsioni delle temperature vengono calcolate tenendo conto di un carico del 100%. Uno standard consente di mettere a confronto i guasti nel tempo e di fare pertanto una classificazione più completa.

### 16.2.5 Priorità

In base alla classificazione dei difetti, il responsabile della manutenzione assegna una priorità di riparazione. Molto spesso le informazioni raccolte durante le ispezioni a infrarossi vengono combinate con informazioni complementari sull'impianto raccolte con altri sistemi, ad esempio il monitoraggio delle vibrazioni, gli ultrasuoni o la manutenzione preventiva programmata.

Anche se l'ispezione a infrarossi sta rapidamente prendendo piede come metodo più diffuso per raccogliere in modo sicuro informazioni su componenti elettrici con gli impianti in condizioni di funzionamento normale, esistono molte altre fonti di informazioni di cui il responsabile della manutenzione o della produzione deve tenere conto.

In situazioni normali la scelta della priorità della riparazione non deve essere affidata all'operatore della termocamera. Se durante l'ispezione o la classificazione dei difetti viene rilevata una situazione critica, è ovviamente necessario attirare l'attenzione del responsabile della manutenzione, ma sarà quest'ultimo ad avere l'incombenza di determinare il livello di urgenza della riparazione.

### 16.2.6 Riparazione

La riparazione di difetti conosciuti è la funzione più importante della manutenzione preventiva. Anche garantire il rispetto dei tempi e dei costi di produzione può rappresentare un obiettivo importante per il personale addetto alla manutenzione. Le informazioni ottenute con l'ispezione a infrarossi possono essere utilizzate per rendere più efficienti gli interventi di riparazione e per raggiungere gli altri obiettivi con un rischio calcolato.

Monitorare la temperatura di un componente risultato difettoso che non può essere riparato immediatamente, ad esempio perché non si dispone delle parti di ricambio necessarie, può spesso ripagare mille volte il costo dell'ispezione e a volte anche della stessa termocamera. Anche decidere di non riparare componenti difettosi di cui si è a conoscenza per risparmiare sui costi di manutenzione ed evitare inutili tempi di inattività è un altro sistema per utilizzare in modo produttivo le informazioni ottenute con l'ispezione a infrarossi.

Comunque, l'identificazione e la classificazione dei guasti in genere portano a suggerire di eseguire una riparazione immediatamente o il più presto possibile. È importante che il personale addetto alle riparazioni conosca i principi fisici per l'identificazione dei difetti. Se un componente difettoso è caratterizzato da una temperatura elevata e si trova in una situazione critica, il personale addetto alle riparazioni di solito si aspetta di trovare un componente altamente corrosivo. Il personale addetto alle riparazioni non dovrebbe sorprendersi neanche di rilevare in un contatto generalmente funzionante, ma allentato, le stesse temperature di un contatto corrosivo. Questi errori di interpretazione sono piuttosto comuni e rischiano di mettere a repentaglio l'attendibilità dell'ispezione a infrarossi.

### 16.2.7 Controllo

Un componente riparato deve essere controllato il prima possibile dopo la riparazione. Non è consigliabile attendere l'ispezione a infrarossi successiva per combinare una nuova ispezione con il controllo dei difetti riparati. Dai dati statistici relativi all'effetto delle riparazioni risulta che fino a un terzo dei componenti difettosi riparati continua a surriscaldarsi. Ciò equivale a dire che i componenti difettosi riparati presentano sempre un potenziale rischio di guasto.

Attendere l'ispezione a infrarossi successiva già pianificata rappresenta un rischio superfluo per l'impianto.

Oltre a garantire una maggiore efficienza del ciclo di manutenzione, misurata in termini di minore rischio per l'impianto, il controllo immediato della riparazione comporta altri vantaggi nelle prestazioni del personale addetto alle riparazioni.

Se un componente difettoso presenta problemi di surriscaldamento anche dopo la riparazione, la determinazione della causa del surriscaldamento consente di migliorare la procedura di riparazione, di scegliere i fornitori più appropriati e di individuare eventuali difetti di progettazione dell'impianto elettrico. Il personale può osservare immediatamente l'effetto dell'intervento di riparazione e può imparare velocemente sia dalle riparazioni riuscite che dagli errori.

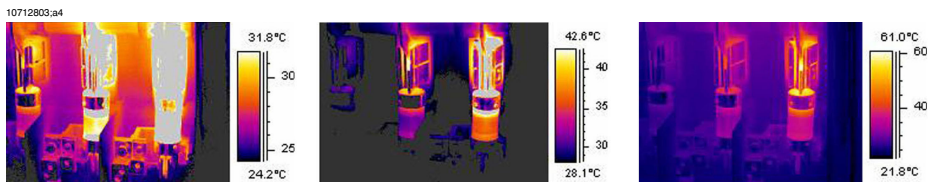
Il personale addetto alle riparazioni dovrebbe essere dotato di uno strumento a infrarossi anche perché molti dei difetti rilevati durante l'investigazione a infrarossi sono di lieve entità. Anziché intervenire con una riparazione, che sottrae tempo utile alla manutenzione e alla produzione, è possibile decidere di tenerli semplicemente sotto controllo. È opportuno pertanto che il personale addetto alla manutenzione possa sempre disporre di attrezzature a infrarossi .

È prassi comune annotare nel modulo del report il tipo di guasto osservato durante la riparazione e l'azione intrapresa. Queste osservazioni costituiscono un'importante fonte di esperienza su cui è possibile basarsi per ridurre le scorte di elementi non necessari, scegliere i fornitori più adatti o addestrare nuovo personale addetto alla manutenzione.

## 16.3 *Tecnica di misurazione per l'ispezione termografica degli impianti elettrici*

### 16.3.1 Come impostare correttamente l'apparecchiatura

In un'immagine termica possono risultare forti variazioni di temperatura:



**Figura 16.2** Variazioni di temperatura in una scatola di fusibili

Dalle immagini sopra riportate risulta che per il fusibile a destra è stata registrata una temperatura massima di +61°C, per quello a sinistra è stata rilevata una temperatura massima di +32°C e per quello centrale una temperatura intermedia tra questi due valori. Le tre immagini si differenziano in quanto la scala della temperatura evidenzia un solo fusibile in ogni immagine. Si tratta tuttavia della stessa immagine in cui sono presenti informazioni su tutti e tre i fusibili. È solo una questione di impostazione dei valori della scala della temperatura.

### 16.3.2 Misurazione della temperatura

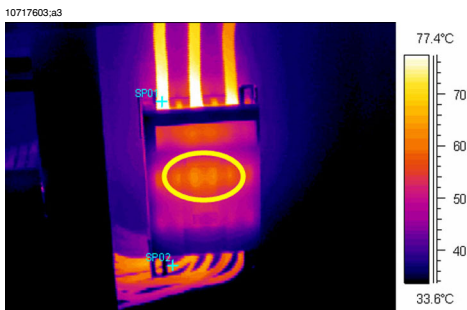
Oggi giorno alcune termocamere consentono di individuare automaticamente la temperatura più alta nell'immagine. L'immagine di seguito riportata è utile per comprendere come viene percepita dall'operatore.



**Figura 16.3** Immagine termica di una scatola di fusibili in cui viene visualizzata la temperatura massima

La temperatura massima nell'area è di +62,2°C. L'esposimetro spot indica l'esatta posizione del punto caldo. L'immagine può essere facilmente memorizzata nella memoria della termocamera.

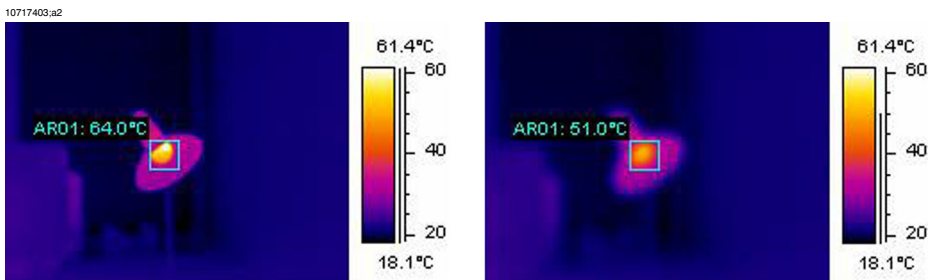
La corretta misurazione della temperatura tuttavia dipende non solo dalla funzione del software di valutazione o dalla termocamera. Può accadere infatti che il guasto vero e proprio sia ad esempio relativo a un collegamento che risulta nascosto alla termocamera per la posizione in cui si trova attualmente. È possibile pertanto che con la termocamera venga rilevato il calore condotto ad una certa distanza, ma che l'“effettivo” punto caldo sia nascosto. Un esempio di questa possibilità è mostrato nell'immagine riportata di seguito.



**Figura 16.4** Un punto caldo nascosto all'interno di una scatola

Provare a scegliere angolazioni diverse e accertarsi che l'area calda sia visibile per intero, ovvero che non sia nascosta da un altro oggetto che potrebbe occultare il punto più caldo. In questa immagine il punto più caldo nella zona visibile alla termocamera è di +83°C, mentre la temperatura di funzionamento nei cavi al di sotto della scatola è di +60°C. L'effettivo punto caldo tuttavia è con ogni probabilità nascosto all'interno della scatola, ovvero nell'area cerchiata di giallo. Il guasto viene segnalato perché viene registrata una temperatura di +23°C al di sopra della norma, ma verosimilmente il problema reale si evidenzia con una temperatura ancora più elevata.

Un altro motivo per cui può accadere che la temperatura di un oggetto venga sotto-stimata è una messa a fuoco non corretta. È molto importante che il punto caldo individuato venga messo a fuoco. Vedere l'esempio seguente.



**Figura 16.5 SINISTRA:** un punto caldo messo a fuoco. **DESTRA:** un punto caldo fuori fuoco.

Nell'immagine di sinistra la lampadina è messa a fuoco. La temperatura media è di +64°C. Nell'immagine di destra la lampadina è fuori fuoco e il risultato è una temperatura massima di soli +51°C.

### 16.3.3 Misurazione comparativa

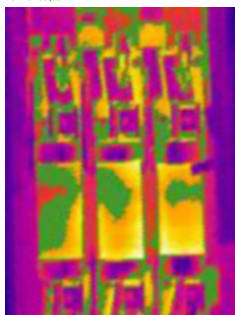
Per le ispezioni termografiche di impianti elettrici viene utilizzato un metodo speciale, basato sul confronto tra diversi oggetti, la cosiddetta *misurazione con riferimento*. In pratica, le tre fasi vengono messe a confronto l'una con l'altra. Per applicare questo metodo, è necessario eseguire una scansione sistematica delle tre fasi in parallelo per valutare se un punto differisce dal normale andamento della temperatura.

Per normale andamento della temperatura si intende una temperatura di funzionamento dei conduttori di energia illustrata con un colore o una sfumatura di grigio specifica sul display, identica in genere per tutte e tre le fasi con carico simmetrico. Nel percorso della corrente possono esistere piccole differenze di colore, ad esempio nel punto in cui si congiungono due diversi materiali, in corrispondenza di aree a maggiore o minore conduttività o di interruttori di circuito in cui si inserisce il percorso della corrente.

Nell'immagine riportata di seguito vengono mostrati tre fusibili con temperature molto vicine tra loro. Dall'isoterma inserita effettivamente risulta una differenza di temperatura di meno di +2°C tra le fasi.

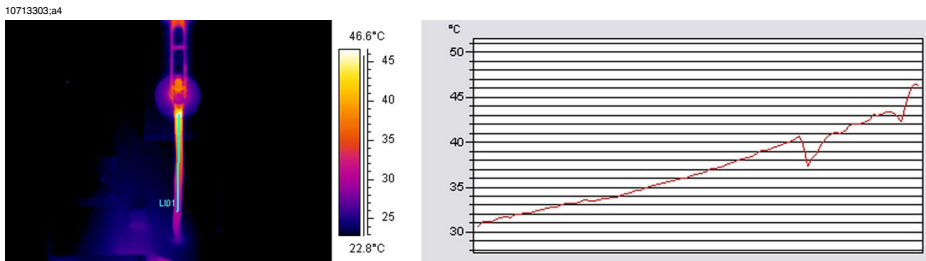
Si ottengono in genere colori diversi se le fasi sopportano un carico asimmetrico. Questa differenza di colori non rappresenta un surriscaldamento, poiché non è localizzata, ma è distribuita nell'intera fase.

10713203.a3



**Figura 16.6** Un'isoterma in un'immagine termica di una scatola di fusibili

Nel caso di un punto caldo “effettivo”, viene invece rilevata una temperatura crescente man mano che ci si avvicina alla fonte di calore. Vedere l'immagine sotto riportata, in cui la linea di profilo mostra una temperatura in costante aumento fino a raggiungere circa +93°C in corrispondenza del punto caldo.



**Figura 16.7** Una linea di profilo in un'immagine termica e un grafico da cui risulta la temperatura in aumento

### 16.3.4 Temperatura di funzionamento normale

La misurazione della temperatura con la termografia in genere consente di ottenere la temperatura assoluta dell'oggetto. Per valutare correttamente se il componente è troppo caldo, è necessario conoscerne la temperatura di funzionamento, ovvero la temperatura normale calcolata in base al carico e alla temperatura dell'ambiente in cui si trova il componente.

Poiché con la misurazione diretta si ottiene la temperatura assoluta, che deve essere comunque presa in considerazione dal momento che la maggior parte dei componenti è caratterizzata da un limite massimo per le temperature assolute, è necessario calcolare la temperatura di funzionamento prevista in base al carico e alla temperatura ambiente. Considerare le seguenti definizioni:

- Temperatura di funzionamento: la temperatura assoluta del componente. Dipende dal carico della corrente e dalla temperatura ambiente. È sempre superiore alla temperatura ambiente.
- Temperatura in eccesso (surriscaldamento): la differenza di temperatura tra un componente che funziona correttamente e un componente guasto.

La temperatura in eccesso si ottiene dalla differenza tra la temperatura di un componente "normale" e la temperatura del componente adiacente. È importante mettere a confronto tra loro gli stessi punti nelle diverse fasi.

Per un esempio, vedere le immagini sotto riportate acquisite da un impianto interno:

10713403.a4



**Figura 16.8** Immagine termica dell'impianto elettrico interno (1)

10713503.a4



**Figura 16.9** Immagine termica dell'impianto elettrico interno (2)

Le due fasi di sinistra sono considerate normali, mentre dalla fase di destra risulta chiaramente una temperatura in eccesso. La temperatura di funzionamento della fase di sinistra è di  $+68^{\circ}\text{C}$ , ovvero una temperatura considerevole, mentre la fase problematica a destra è caratterizzata da una temperatura di  $+86^{\circ}\text{C}$ . È pertanto possibile calcolare un eccesso di temperatura di  $+18^{\circ}\text{C}$ , che corrisponde a un guasto da riparare rapidamente.

Per motivi pratici, la temperatura di funzionamento normale o prevista di un componente viene considerata come temperatura dei componenti in almeno due fasi su tre, purché si ritenga che i componenti funzionino normalmente. Il caso “più normale” è naturalmente quello in cui tutte e tre le fasi sono caratterizzate dalla stessa temperatura o da temperature con differenze trascurabili. La temperatura di funzionamento dei componenti esterni nelle sottostazioni o nelle linee elettriche in genere è solo di  $1$  o  $2^{\circ}\text{C}$  al di sopra della temperatura dell'aria. Nelle sottostazioni interne le variazioni delle temperature di funzionamento sono più significative.

Questi comportamenti vengono illustrati chiaramente anche nell'immagine inferiore. In questo caso è la fase di sinistra a presentare una temperatura in eccesso. La temperatura di funzionamento, calcolata in base alle due fasi "fredde", è di +66°C. Nella fase problematica la temperatura rilevata è di +127°C, il che indica una situazione da risolvere al più presto.

### 16.3.5 Classificazione dei guasti

Una volta rilevato un collegamento difettoso, è possibile decidere se è necessario intervenire immediatamente con misure correttive oppure se intervenire in un momento successivo. Per consigliare l'azione più appropriata, prendere in considerazione i seguenti criteri:

- Carico durante la misurazione
- Carico uniforme o variabile
- Posizione del componente guasto all'interno dell'impianto elettrico
- Carico futuro previsto
- Misurazione della temperatura in eccesso effettuata direttamente nel punto in cui si è verificato il guasto o indirettamente tramite il calore condotto generato da un guasto all'interno dell'apparecchio

Le temperature in eccesso misurate direttamente sul componente guasto in genere vengono divise in tre categorie in relazione a un carico massimo del 100%.

I	< 5°C	Inizio della condizione di surriscaldamento. Deve essere monitorato con attenzione.
II	5–30°C	Surriscaldamento avanzato. È necessario intervenire il più presto possibile, tenendo conto però della situazione di carico prima di prendere una decisione.
III	>30°C	Surriscaldamento acuto. È necessario intervenire immediatamente, tenendo conto però della situazione di carico prima di prendere una decisione.

## 16.4 Creazione di report

Attualmente le ispezioni termografiche di impianti elettrici vengono in quasi tutti i casi documentate e completate da report creati con l'ausilio di un apposito programma. Questi programmi, che variano a seconda del produttore, in genere vengono adattati direttamente alle termocamere e consentono pertanto di generare report rapidamente e senza difficoltà.

Per creare la pagina di report riportata di seguito è stato utilizzato il programma FLIR Reporter, adattato a diversi tipi di termocamere prodotte da FLIR Systems.

Un report professionale è spesso suddiviso in due sezioni:

- Prime pagine con informazioni sull'ispezione, ad esempio:
  - Dati relativi al cliente, ad esempio nome della società del cliente e persona da contattare
  - Luogo in cui è stata eseguita l'ispezione: indirizzo del sito, città e così via
  - Data dell'ispezione
  - Data del report
  - Nome dell'operatore
  - Firma dell'operatore
  - Riepilogo o sommario
- Pagine relative all'ispezione vera e propria, contenenti immagini termiche di documentazione e analisi delle proprietà o delle anomalie termiche:
  - Identificazione dell'oggetto sottoposto a ispezione:
    - Informazioni sull'oggetto: designazione, nome, numero e così via
    - Foto
  - Immagine termica. Quando si raccolgono le immagini termiche, è necessario tenere conto di alcuni dettagli:
    - Messa a fuoco ottica
    - Regolazione termica della scena o del problema (livello e campo)
    - Composizione: distanza di osservazione e angolo di visualizzazione appropriati
  - Commento
    - Segnalare se è presente un'anomalia.
    - Segnalare se è presente un riflesso.
    - Utilizzare un elemento di misurazione, ad esempio un puntatore, un'area o un'isoterma, per quantificare il problema. Utilizzare l'elemento più semplice. Nei report delle ispezioni di impianti elettrici non è quasi mai necessario inserire un diagramma del profilo.

10713603.a3


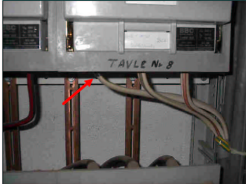
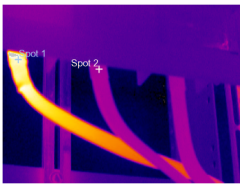
	<b>THERMOGRAPHY INSPECTION</b> for <b>FLIR Systems AB</b>		Date: 2005-10-10 Sign: _____ Contract. : 1708																					
	<b>Photograph</b>																							
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Place</td><td>Building 1</td></tr> <tr><td>Localization</td><td>Right panel, group 2</td></tr> <tr><td>Equipment</td><td>Fuse</td></tr> <tr><td>Model / type</td><td>BBC LHBN 250</td></tr> <tr><td>Phase / ID</td><td>Supply for Panel 8</td></tr> <tr><td>Room temperature °C</td><td>15</td></tr> <tr><td><b>Status</b></td><td><b>Over heated</b></td></tr> </table>		Place	Building 1	Localization	Right panel, group 2	Equipment	Fuse	Model / type	BBC LHBN 250	Phase / ID	Supply for Panel 8	Room temperature °C	15	<b>Status</b>	<b>Over heated</b>								
	Place	Building 1																						
Localization	Right panel, group 2																							
Equipment	Fuse																							
Model / type	BBC LHBN 250																							
Phase / ID	Supply for Panel 8																							
Room temperature °C	15																							
<b>Status</b>	<b>Over heated</b>																							
<b>Thermogram</b>																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Temp. Spot 1</td><td>34 °C</td></tr> <tr><td>Temp. Spot 2</td><td>17 °C</td></tr> <tr><td><b>TEMPERATURE DIFF</b></td><td><b>17 °C</b></td></tr> <tr><td>Phase</td><td>L1</td><td>L2</td><td>L3</td></tr> <tr><td>Load ( A )</td><td>45</td><td>47</td><td>47</td></tr> <tr><td>Rated load</td><td colspan="3">250</td></tr> <tr><td><b>Fault class</b></td><td colspan="3"><b>2</b></td></tr> </table>		Temp. Spot 1	34 °C	Temp. Spot 2	17 °C	<b>TEMPERATURE DIFF</b>	<b>17 °C</b>	Phase	L1	L2	L3	Load ( A )	45	47	47	Rated load	250			<b>Fault class</b>	<b>2</b>		
	Temp. Spot 1	34 °C																						
Temp. Spot 2	17 °C																							
<b>TEMPERATURE DIFF</b>	<b>17 °C</b>																							
Phase	L1	L2	L3																					
Load ( A )	45	47	47																					
Rated load	250																							
<b>Fault class</b>	<b>2</b>																							
<b>Comment</b>																								
<p>Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead. Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.</p> <p>Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C. [ T50=(T1-T2)*(125/45)*1.6+T2 ]</p>																								
<b>Corrected</b>																								
Measure taken: _____		Date: _____																						
Sign: _____		Sign.: _____																						
Side 1																								

Figura 16.10 Esempio di report

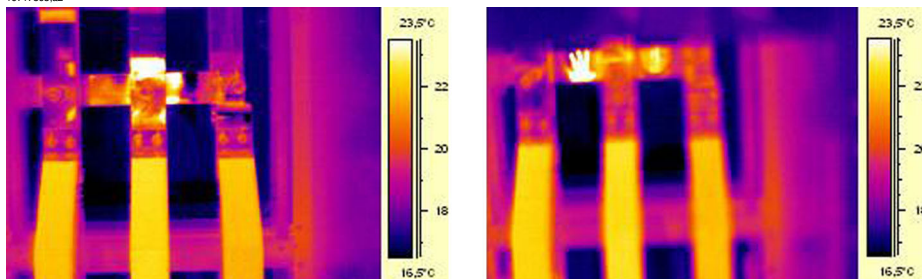
## 16.5 Tipi diversi di punti caldi negli impianti elettrici

### 16.5.1 Riflessi

La termocamera percepisce tutte le radiazioni che penetrano nell'obiettivo, non solo quindi quelle provenienti dall'oggetto che si sta esaminando, ma anche quelle provenienti da altre fonti e riflesse dall'oggetto esaminato. Nella maggior parte dei casi i componenti elettrici sono come specchi per le radiazioni infrarosse, anche se questo fenomeno non viene percepito a occhio nudo. I componenti metallici sono particolarmente lucidi, contrariamente ai componenti isolati verniciati, di plastica o di gomma. Nell'immagine sotto riportata è possibile individuare chiaramente un riflesso dell'operatore termografico. Non si tratta naturalmente di un punto caldo nell'oggetto. Il modo migliore per capire se quello che si osserva è un riflesso è spostarsi. Esaminare il soggetto da un'angolazione diversa e controllare il “punto caldo”. Se si muove quando l'operatore si sposta, si tratta di un riflesso.

Non è possibile misurare la temperatura di dettagli lucidi come specchi. L'oggetto nelle immagini sotto riportate è caratterizzato da aree verniciate adatte per la misurazione della temperatura. Il materiale esaminato è il rame, che è un ottimo conduttore del calore e pertanto la variazione di temperatura sulla superficie è minima.

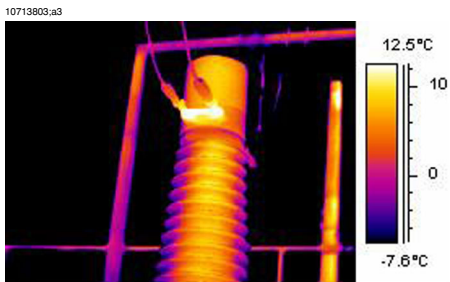
10717503.a2



**Figura 16.11** Riflessi in un oggetto

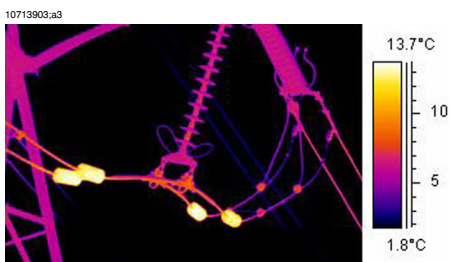
### 16.5.2 Riscaldamento solare

La superficie di un componente con un'elevata emissività, ad esempio un interruttore, può riscaldarsi e raggiungere temperature considerevoli per irradiazione solare nelle calde giornate estive. Nell'immagine viene mostrato un interruttore di circuito riscaldato dal sole.



**Figura 16.12** Immagine termica di un interruttore di circuito

### 16.5.3 Riscaldamento per induzione



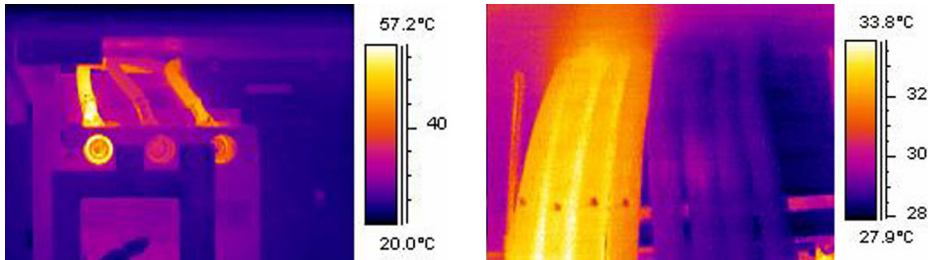
**Figura 16.13** Immagine termica di pesi stabilizzatori caldi

Le correnti parassite possono generare un punto caldo nel percorso della corrente. In presenza di correnti molto elevate e di stretta vicinanza di altri metalli, in alcuni casi si sono verificati incendi di una certa entità. Questo tipo di riscaldamento ha luogo in materiali magnetici intorno al percorso della corrente, ad esempio le piastre metalliche inferiori di isolatori passanti. Nell'immagine sopra riportata vengono mostrati pesi stabilizzatori attraversati da una forte corrente. Questi pesi metallici, costituiti da materiali leggermente magnetici, non condurranno la corrente, ma saranno esposti ai campi magnetici variabili, con conseguente rischio di riscaldamento. Il surriscaldamento riportato nell'immagine è inferiore a  $+5^{\circ}\text{C}$ , ma nella realtà non è sempre così.

### 16.5.4 Variazioni di carico

Nelle aziende elettriche pubbliche vengono utilizzati di norma i sistemi a tre fasi. Per ricercare eventuali situazioni di surriscaldamento, è sufficiente confrontare le tre fasi direttamente l'una con l'altra, ad esempio cavi, interruttori, isolanti e così via. Un carico uniforme per fase genera un andamento della temperatura uniforme per tutte e tre le fasi. È possibile sospettare la presenza di un guasto nei casi in cui la temperatura di una fase differisce in modo significativo dalle altre due. Accertarsi sempre tuttavia che il carico sia realmente distribuito in modo uniforme. A tale scopo, utilizzare un amperometro fisso o portatile (fino a 600 A).

10714003.a3



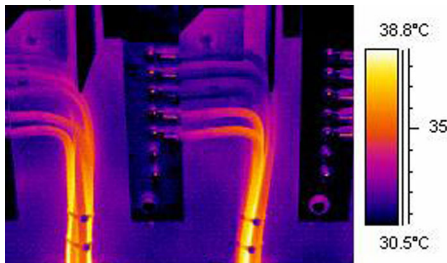
**Figura 16.14** Esempi di immagini termiche di variazioni di carico

Nell'immagine a sinistra vengono mostrati tre cavi uno accanto all'altro. Sono così distanti da poter essere considerati come isolati termicamente l'uno dall'altro. Quello al centro è più freddo degli altri. A meno che le due fasi non siano difettose e surriscaldate, si tratta di un tipico esempio di carico molto asimmetrico. La temperatura si diffonde in modo uniforme lungo i cavi, a indicare un aumento della temperatura dipendente dal carico anziché un collegamento difettoso.

Nell'immagine a destra vengono mostrati due fasci con carichi diversi. Anzi, il fascio di destra non trasporta quasi alcun carico. I fasci che trasportano un carico di corrente significativo sono circa 5°C più caldi di quelli con poco carico. In questi esempi non vi sono guasti da segnalare.

### 16.5.5 Condizioni di raffreddamento variabili

10714103.a3



**Figura 16.15** Immagine termica di fasci di cavi

Quando ad esempio vengono raggruppati più cavi insieme, può accadere che i cavi al centro non vengano raffreddati in modo sufficiente e raggiungano temperature elevate. Vedere l'immagine sopra riportata.

I cavi a destra nell'immagine non presentano problemi di surriscaldamento in prossimità delle giunzioni. Nella parte verticale del fascio i cavi sono tuttavia legati strettamente, il raffreddamento è insufficiente, il calore non viene disperso per convezione e i cavi sono molto più caldi, in pratica circa 5°C al di sopra della temperatura della parte dei cavi meglio raffreddata.

### 16.5.6 Variazioni di resistenza

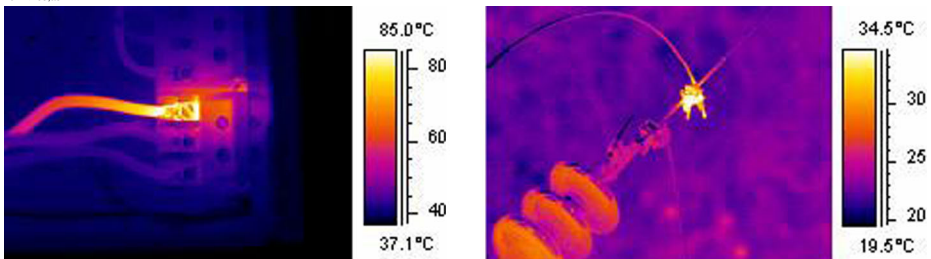
Il surriscaldamento può avere molte origini. Di seguito vengono descritte alcune delle cause più comuni.

È possibile registrare una pressione di contatto insufficiente durante il montaggio di un giunto o per deterioramento del materiale, ad esempio tensione ridotta di una molla, filettature consumate nei dadi e nei bulloni, nonché una sollecitazione abnorme esercitata durante il montaggio. Con l'aumento dei carichi e delle temperature, il limite di snervamento del materiale viene superato e la tensione si indebolisce.

Nell'immagine di sinistra sotto riportata viene mostrato un contatto difettoso causato da un bullone allentato. Poiché è di dimensioni limitate, il contatto difettoso genera surriscaldamento solo in un punto molto piccolo a partire dal quale il calore viene distribuito in modo uniforme lungo il cavo di collegamento. Si noti che, a causa dell'emissività inferiore, la vite sembra essere leggermente più fredda dell'isolante del cavo isolato, caratterizzato da un'emissività superiore.

Nell'immagine a destra viene mostrata un'altra situazione di surriscaldamento, anche questa volta causata da un collegamento allentato. Si tratta di un collegamento all'esterno e pertanto esposto all'effetto di raffreddamento del vento. È probabile che il surriscaldamento sarebbe risultato più significativo se il collegamento si fosse trovato al chiuso.

10714203.a3

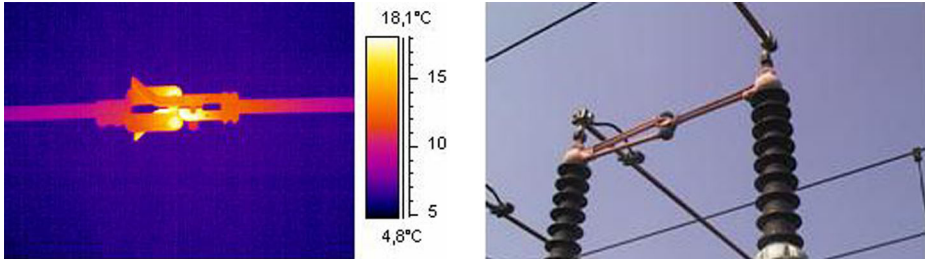


**Figura 16.16 SINISTRA:** immagine termica in cui viene mostrato un contatto difettoso a causa di un bullone allentato. **DESTRA:** collegamento esterno allentato, esposto all'effetto di raffreddamento del vento.

### 16.5.7 Surriscaldamento di un componente causato da un guasto in un altro componente

A volte è possibile riscontrare una condizione di surriscaldamento in un componente non difettoso. La causa è da ricercarsi nel fatto che il carico è condiviso da due conduttori. In uno dei due conduttori risulta un aumento della resistenza, mentre l'altro non presenta problemi. In questo modo, il componente difettoso trasporta un carico minore, mentre quello funzionante deve trasportare un carico maggiore, che può essere eccessivo e comportare un aumento della temperatura. Vedere l'immagine.

10714303.a3



**Figura 16.17** Surriscaldamento in un interruttore di circuito

Il surriscaldamento di questo interruttore di circuito è causato molto probabilmente da un contatto difettoso nel dente più prossimo del contattore. Il dente più lontano quindi trasporta più corrente e si surriscalda. Il componente mostrato nell'immagine termica non è lo stesso riportato nella foto, ma è simile.

## 16 Fattori di disturbo nel corso di ispezioni termografiche di impianti elettrici

Durante le ispezioni termografiche di tipi diversi di impianti elettrici, fattori di disturbo quali vento, distanza dall'oggetto, pioggia o neve spesso interferiscono con il risultato della misurazione.

### 16.6.1 Vento

Durante le ispezioni all'aperto è necessario tenere conto dell'effetto di raffreddamento causato dal vento. Il surriscaldamento misurato a una velocità del vento di 5 m/s (10 nodi) sarà praticamente circa il doppio in presenza di vento a una velocità di 1 m/s (2 nodi). La temperatura in eccesso misurata a 8 m/s (16 nodi) sarà 2,5 volte quella misurata con una velocità del vento di 1 m/s (2 nodi). Questo fattore di correzione, basato su misurazioni empiriche, in genere è applicabile fino a 8 m/s (16 nodi).

In alcuni casi tuttavia è necessario eseguire l'ispezione anche se il vento supera la velocità di 8 m/s (16 nodi). Nel mondo esistono molti luoghi ventosi, isole, montagne e così via, ma è importante essere consapevoli che il surriscaldamento eventualmente riscontrato nei componenti risulterebbe ancora maggiore con una minore velocità del vento. È possibile calcolare il fattore di correzione empirico.

Velocità del vento (m/s)	Velocità del vento (nodi)	Fattore di correzione
1	2	1
2	4	1,36
3	6	1,64
4	8	1,86
5	10	2,06
6	12	2,23
7	14	2,40
8	16	2,54

Moltiplicando il surriscaldamento misurato per il fattore di correzione si ottiene la temperatura in eccesso in assenza di vento, ovvero a una velocità del vento di 1 m/s (2 nodi).

### 16.6.2 Pioggia e neve

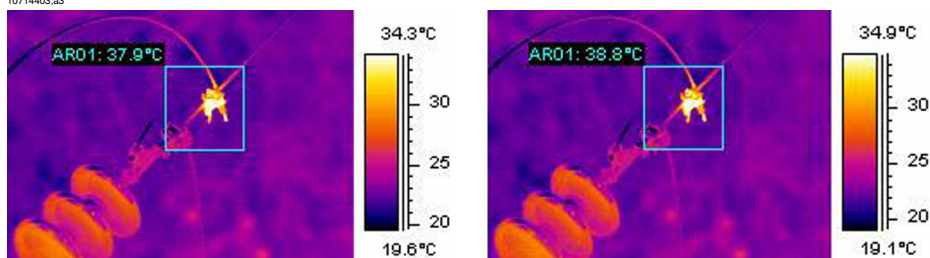
Anche la pioggia e la neve producono un effetto di raffreddamento su un impianto elettrico. È comunque possibile eseguire una misurazione termografica soddisfacente durante una leggera nevicata, in presenza di neve secca o con una leggera pioggia.

L'immagine risulterà invece meno nitida in presenza di forti neviccate o pioggia intensa, nel qual caso non sarà più possibile eseguire misurazioni affidabili. Ciò è dovuto principalmente al fatto che le forti neviccate e la pioggia intensa sono impenetrabili alla radiazione infrarossa, pertanto in queste circostanze verrà misurata la temperatura dei fiocchi di neve o delle gocce di pioggia.

### 16.6.3 Distanza dall'oggetto

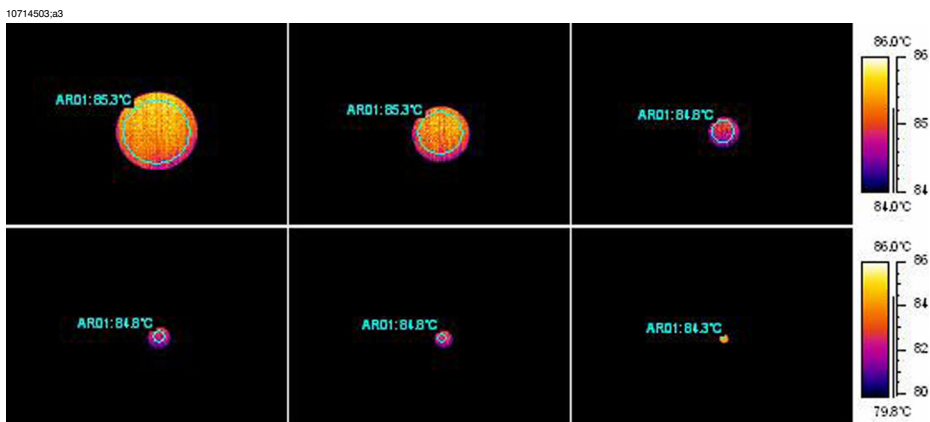
Questa immagine è stata acquisita da un elicottero distante 20 metri dal collegamento guasto. La distanza è stata erroneamente impostata su 1 metro e la temperatura misurata è stata di +37,9°C. Il valore della misurazione dopo aver impostato successivamente la distanza su 20 metri è riportato nell'immagine a destra, in cui la temperatura è stata corretta a +38,8°C. La differenza non è elevata, ma può far rientrare il guasto in una classe di gravità più alta. È pertanto necessario non sottovalutare l'importanza dell'impostazione della distanza.

10714403.a3



**Figura 16.18 SINISTRA:** impostazione della distanza errata. **DESTRA:** impostazione della distanza corretta.

Nelle immagini sotto riportate vengono mostrate le letture della temperatura di un corpo nero a +85°C a distanze sempre maggiori.



**Figura 16.19** Letture della temperatura di un corpo nero a +85°C a distanze sempre maggiori

Da sinistra verso destra, le temperature medie misurate per un corpo nero a +85°C sono +85,3°C, +85,3°C, +84,8°C, +84,8°C, +84,8°C e +84,3°C. I termogrammi sono stati acquisiti con un obiettivo a 12°. Le distanze sono 1, 2, 3, 4, 5 e 10 metri. La correzione della distanza è stata impostata con precisione e funziona, poiché l'oggetto è sufficientemente grande da consentire una misurazione corretta.

#### 16.6.4 Dimensioni dell'oggetto

Nella seconda serie di immagini sotto riportate viene mostrato lo stesso oggetto, ma con il normale obiettivo a 24°. In questo caso le temperature medie misurate del corpo nero a +85°C sono: +84,2°C, +83,7°C, +83,3°C, +83,3°C, +83,4°C e +78,4°C.

L'ultimo valore (+78,4°C) è la temperatura massima, poiché non è stato possibile inserire un cerchio all'interno della piccolissima immagine del corpo nero. Non è possibile ovviamente misurare valori corretti se l'oggetto è troppo piccolo. La distanza è stata impostata correttamente su 10 metri.

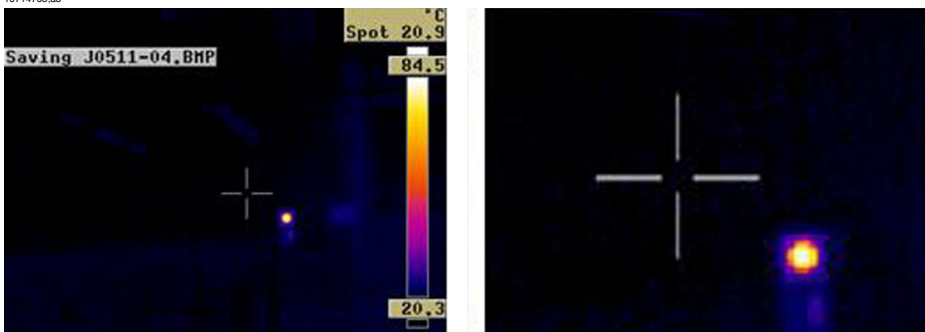
10714603.a3



**Figura 16.20** Letture della temperatura di un corpo nero a +85°C a distanze sempre maggiori (obiettivo a 24°)

Questo effetto è dovuto alla presenza di una dimensione minima dell'oggetto, che fornisce la misurazione corretta della temperatura. Tale dimensione minima viene indicata all'utente in tutte le termocamere FLIR Systems. Nell'immagine sotto riportata viene mostrato quanto è possibile osservare guardando nell'oculare della termocamera modello 695. L'esposimetro spot è dotato di un'apertura al centro, visibile più in dettaglio a destra. Le dimensioni dell'oggetto devono essere maggiori dell'apertura, altrimenti la radiazione emessa dagli oggetti adiacenti più prossimi, che sono più freddi, interferirà con la misurazione, riducendo in modo significativo il valore della lettura. Nel caso sopra riportato, in cui viene esaminato un oggetto appuntito, molto più caldo degli oggetti circostanti, la lettura della temperatura sarà troppo bassa.

10714703.a3



**Figura 16.21** Immagine risultante dall'oculare di una termocamera ThermoCAM 695

Questo effetto è dovuto a imperfezioni dell'ottica e alle dimensioni degli elementi del rivelatore. È un aspetto tipico di tutte le termocamere e non può essere evitato.

## 16.7 Suggerimenti pratici per l'operatore

Utilizzando una termocamera in situazioni reali sarà possibile scoprire piccoli trucchi che consentiranno di lavorare in modo più agevole. Per iniziare, eccone qualcuno.

### 16.7.1 Passaggio dal freddo al caldo

Si consideri una situazione per cui, dopo essere stati all'aperto con la termocamera a +5°C, per continuare il lavoro sia necessario effettuare l'ispezione al chiuso. Se si indossano occhiali, si è abituati a dover rimuovere la condensa per poter vedere con chiarezza. Accade lo stesso con la termocamera. Per eseguire misurazioni corrette, è opportuno attendere che la termocamera si sia riscaldata abbastanza da consentire l'evaporazione della condensa. In questo modo inoltre sarà possibile per il sistema di compensazione della temperatura interna adattarsi alla nuova condizione.

### 16.7.2 Acquazzoni

Se inizia a piovere, non eseguire l'ispezione, poiché a causa dell'acqua la temperatura della superficie dell'oggetto da sottoporre a misurazione subirà variazioni drastiche. A volte è necessario tuttavia utilizzare la termocamera anche in presenza di rovesci di pioggia o di schizzi. In questi casi, proteggere la termocamera con una semplice busta di plastica trasparente in polietilene. L'attenuazione causata dalla busta di plastica può essere corretta regolando la distanza dall'oggetto finché la lettura della temperatura non corrisponde a quella registrata senza la busta di plastica. In alcuni modelli di termocamere è disponibile un'apposita funzionalità di trasmissione con ottica esterna.

### 16.7.3 Emissività

È necessario determinare l'emissività del materiale che si desidera sottoporre a misurazione. Nella maggior parte dei casi non sarà possibile trovare i valori desiderati in tabelle di riferimento. Utilizzare la vernice nera ottica, ovvero Nextel Black Velvet. Verniciare una piccola porzione del materiale che si sta utilizzando. L'emissività della vernice ottica in genere è di 0,94. Ricordare che l'oggetto deve avere una temperatura, che è diversa e di solito superiore alla temperatura ambiente. Maggiore è la differenza, più sarà preciso il calcolo dell'emissività. La differenza deve essere almeno di 20°C. Esistono anche altre vernici che supportano temperature elevatissime fino a +800°C. L'emissività tuttavia potrebbe essere inferiore a quella della vernice ottica.

A volte non è possibile verniciare l'oggetto da sottoporre a misurazione. In questo caso è possibile utilizzare del nastro adesivo. Nella maggior parte di casi sarà sufficiente utilizzare un nastro adesivo sottile di cui sia stata precedentemente determinata l'emissività e che potrà essere rimosso senza danneggiare l'oggetto dello studio.

Considerare tuttavia che alcuni nastri adesivi sono semitrasparenti e non sono pertanto molto adatti allo scopo. Uno dei nastri adesivi più indicati allo scopo è il nastro isolante Scotch per esterni e condizioni di temperatura al di sotto dello zero.

#### 16.7.4 Temperatura apparente riflessa

Si consideri una situazione in cui si individuino diverse fonti di calore che interferiscono con la misurazione. È necessario disporre del valore corretto della temperatura apparente riflessa da inserire nella termocamera in modo da ottenere la migliore correzione possibile. A tale scopo, impostare l'emissività su 1,0. Regolare l'obiettivo della termocamera sulla messa a fuoco da vicino e salvare un'immagine guardando nella direzione opposta all'oggetto. Utilizzando l'area o l'isoterma, determinare il valore più probabile della media dell'immagine e utilizzarlo per immettere la temperatura apparente riflessa.

#### 16.7.5 Oggetto troppo lontano

Se si teme che la termocamera di cui si dispone non consenta di effettuare misurazioni corrette a una determinata distanza, una regola da applicare per l'obiettivo è quella di moltiplicare il campo visivo istantaneo (IFOV) per 3. Per IFOV si intende il dettaglio dell'oggetto visto da un singolo elemento del rilevatore. Esempio: 25 gradi corrispondono a circa 437 mrad. Se l'immagine nella termocamera è di  $120 \times 120$  pixel, l'IFOV sarà  $437/120 = 3,6$  mrad (3,6 mm/m) e il rapporto della dimensione del puntatore sarà di circa  $1000/(3 \times 3,6) = 92:1$ . Questo significa che, a una distanza di 9,2 metri, l'oggetto deve essere largo almeno 0,1 metri o 100 mm. Per non rischiare, restare a meno di 9 metri. A una distanza di 7–8 metri, la misurazione dovrebbe essere corretta.

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 17 Informazioni su FLIR Systems

FLIR Systems è stata fondata nel 1978 con l'obiettivo di sviluppare innovativi sistemi di imaging termico a elevate prestazioni e si è affermata come leader internazionale nel settore della progettazione, produzione e distribuzione di tali sistemi per un'ampia gamma di applicazioni commerciali, industriali e istituzionali. FLIR Systems include oggi quattro delle maggiori società che vantano straordinari risultati nel settore della tecnologia termica, dal 1965: la svedese AGEMA Infrared Systems (precedentemente nota come AGA Infrared Systems) e le tre aziende statunitensi Indigo Systems, FSI e Inframetrics.

10722703.a1



**Figura 17.1 SINISTRA:** Thermovision® Modello 661 del 1969. La termocamera pesava circa 25 kg, l'oscilloscopio 20 kg e il treppiedi 15 kg. L'operatore inoltre doveva procurarsi un gruppo elettrogeno da 220 VCA e un contenitore da 10 litri con azoto liquido. Alla sinistra dell'oscilloscopio è visibile l'attacco Polaroid (6 kg). **DESTRA:** InfraCAM del 2006. Peso: 0,55 kg, batteria inclusa

La società ha venduto oltre 40.000 termocamere a infrarossi in tutto il mondo per utilizzi quali manutenzione preventiva, ricerca e sviluppo, test non distruttivi, controllo e automazione dei processi, visione artificiale e altro ancora.

FLIR Systems dispone di tre stabilimenti produttivi negli Stati Uniti (Portland, OREGON, Boston, MASSACHUSETTS, Santa Barbara, CALIFORNIA) e uno in Svezia (Stoccolma). È inoltre presente con uffici commerciali in Belgio, Brasile, Cina, Francia, Germania, Gran Bretagna, Hong Kong, Italia, Giappone, Svezia e USA, i quali, coadiuvati da una rete mondiale di agenti e distributori, supportano la base di clienti internazionali della società.

FLIR Systems è una società innovativa nel settore delle termocamere a infrarossi in grado di anticipare la domanda del mercato migliorando costantemente i prodotti esistenti e sviluppandone di nuovi. La storia della società è costellata di importanti

innovazioni che hanno segnato tappe fondamentali nella progettazione e nello sviluppo del prodotto, quali, ad esempio, l'introduzione della prima termocamera portatile a batteria per le ispezioni industriali e della prima termocamera a infrarossi senza raffreddamento, solo per citarne un paio.

FLIR Systems produce autonomamente i principali componenti meccanici ed elettronici delle proprie termocamere. Tutte le fasi della produzione, dalla progettazione dei rilevatori alla produzione delle lenti e dell'elettronica di sistema, fino alla calibrazione e al collaudo finali, vengono eseguite sotto la supervisione di tecnici specializzati in tecnologie a infrarossi, le cui grandi competenze garantiscono la precisione e l'affidabilità di tutti i componenti cruciali assemblati nella termocamera.

### **17.1** *Molto di più di una semplice termocamera a infrarossi*

L'obiettivo di FLIR Systems non consiste semplicemente nella produzione dei migliori sistemi per termocamere. Ci impegniamo infatti per migliorare la produttività di tutti gli utenti dei nostri sistemi offrendo loro una combinazione di eccezionale potenza di software e termocamere. Il nostro software è specificatamente progettato per consentire la manutenzione preventiva, mentre il monitoraggio dei processi di ricerca e sviluppo viene realizzato internamente all'azienda. La maggior parte del software è disponibile in più lingue.

A corredo delle termocamere prodotte dall'azienda, viene fornita un'ampia gamma di accessori che consentono di adattare l'apparecchiatura acquistata a qualunque tipo di utilizzo.

### **17.2** *Le competenze della società a disposizione del cliente*

Nonostante le termocamere prodotte da Flir Systems siano progettate per essere di semplice utilizzo, la termografia è un settore molto complesso e non è sufficiente saper utilizzare la termocamera. FLIR Systems ha pertanto creato il centro di addestramento ITC (Infrared Training Center), un'unità operativa distinta che si occupa di fornire corsi di formazione certificati. Partecipando a uno dei corsi organizzati dall'ITC, gli operatori acquisiscono l'esperienza pratica necessaria.

Il personale dell'ITC fornisce inoltre il supporto applicativo necessario per passare dalla teoria alla pratica.

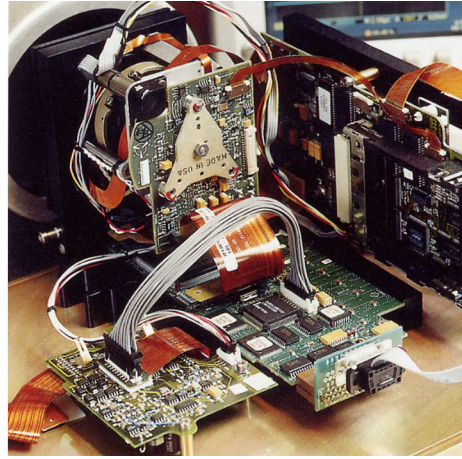
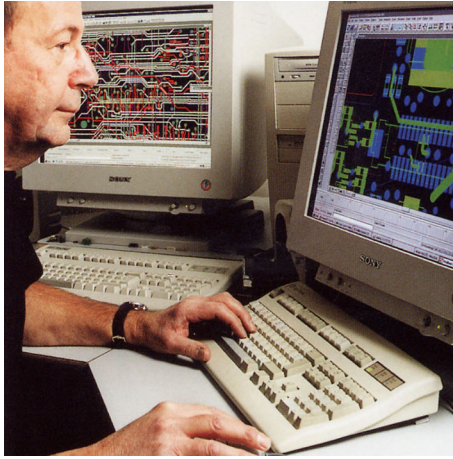
## 17.3 *Una società dedicata al supporto dei clienti*

FLIR Systems gestisce una rete mondiale di servizi volti a mantenere sempre operative le termocamere fornite. Se si verifica un problema, i centri di assistenza locali dispongono delle attrezzature e del know-how necessari per risolverlo nel più breve tempo possibile. Non è pertanto necessario inviare lontano la termocamera o parlare con operatori che non capiscono l'italiano.

17

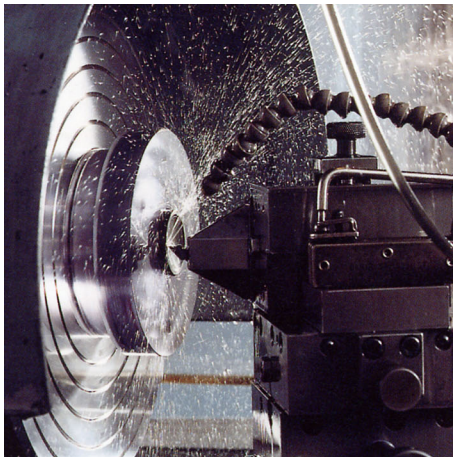
## 17.4 *Alcune foto degli stabilimenti*

10401303.a1



**Figura 17.2 SINISTRA:** sviluppo di elettronica di sistema; **DESTRA:** collaudo di un rivelatore FPA

10401403.a1



**Figura 17.3 SINISTRA:** tornio a punta di diamante; **DESTRA:** lucidatura dell'obiettivo

10401503.a1

17



**Figura 17.4 SINISTRA:** Collaudo delle termocamere a infrarossi nella camera climatica; **DESTRA:** Robot per il collaudo e la calibrazione delle termocamere

# 18 Glossario

Termine o espressione	Descrizione
ambiente	Gli oggetti e i gas che emettono radiazioni verso l'oggetto sottoposto a misurazione.
assorbimento (fattore)	La quantità di radiazione assorbita da un oggetto rispetto alla radiazione ricevuta. Un valore compreso tra 0 e 1.
atmosfera	I gas presenti tra l'oggetto misurato e la termocamera, normalmente aria.
campo	L'intervallo della scala della temperatura, in genere espresso come un valore di segnale.
cavità isotermica	Un radiatore con cavità a forma di bottiglia con una temperatura uniforme, osservato attraverso il collo di bottiglia.
colore di saturazione	Le aree con temperature che non rientrano nelle impostazioni di livello e campo correnti vengono colorate con i colori di saturazione. Nei colori di saturazione sono compresi un colore di 'superamento del limite massimo' e un colore di 'non raggiungimento del limite minimo'. Esiste anche un terzo colore di saturazione rosso, con cui viene contrassegnato qualunque elemento saturato dal rilevatore per indicare che è opportuno cambiare l'intervallo.
conduzione	Il processo che determina la diffusione del calore in un materiale.
convezione	Il processo che provoca il moto ascensionale di aria o liquidi caldi.
corpo grigio	Un oggetto che emette una frazione fissa della quantità di energia di un corpo nero per ciascuna lunghezza d'onda.
corpo nero	Un oggetto totalmente non riflettente. Tutta la radiazione che emette è generata solo dalla propria temperatura.
corpo nero radiante	Dispositivo radiante IR con proprietà di corpo nero, utilizzato per calibrare le termocamere.
correzione di immagine (interna / esterna)	Un modo per compensare le differenze di sensibilità nelle varie parti delle immagini dal vivo e anche per stabilizzare la termocamera.
differenza di temperatura	Un valore risultante dalla sottrazione tra due valori di temperatura.
doppia isoterma	Un'isoterma con due bande di colori invece di una.
emissività (fattore)	La quantità di radiazione proveniente da un oggetto rispetto a quella di un corpo nero. Un valore compreso tra 0 e 1.

Termine o espressione	Descrizione
emittanza	La quantità di energia emessa da un oggetto per unità di tempo e area ( $W/m^2$ ).
emittanza spettrale	Quantità di energia emessa da un oggetto per unità di tempo, area e lunghezza d'onda ( $W/m^2/\mu m$ ).
filtro spettrale	Un materiale trasparente solo ad alcune lunghezze d'onda a infrarossi.
FOV	apertura angolare: l'angolo orizzontale che è possibile osservare attraverso un obiettivo IR.
FPA	Acronimo di Focal Plane Array: un tipo di rilevatore IR.
IFOV	Acronimo di Instantaneous Field Of View: unità di misura della risoluzione geometrica di una termocamera.
infrarosso	Radiazione non visibile, con una lunghezza d'onda compresa approssimativamente tra 2 e 13 $\mu m$ .
intervallo	Il limite di misurazione della temperatura complessiva corrente di una termocamera a infrarossi. Le termocamere possono avere vari intervalli. Espresso come due temperature di corpo nero che limitano la calibrazione corrente.
intervallo di temperatura	Il limite di misurazione della temperatura complessiva corrente di una termocamera a infrarossi. Le termocamere possono avere vari intervalli. Espresso come due temperature di corpo nero che limitano la calibrazione corrente.
IR	infrarosso
isoterma	Una funzione che evidenzia le parti di un'immagine la cui temperatura è superiore, inferiore o compresa in uno o più intervalli di temperatura.
isoterma trasparente	Un'isoterma che mostra una distribuzione lineare dei colori invece di coprire le parti evidenziate dell'immagine.
Laser LocatIR	Una fonte di luce alimentata elettricamente che emette radiazione laser in un sottile raggio concentrato per puntare su certe parti di un soggetto posto davanti alla termocamera.
livello	Il valore centrale della scala di temperatura, in genere espresso come valore di segnale.
NETD	Acronimo di Noise Equivalent Temperature Difference: unità di misura del livello di rumore delle immagini di una termocamera.
ottiche esterne	Protezioni termiche, obiettivi e filtri aggiuntivi che possono essere frapposti tra la termocamera e l'oggetto sottoposto a misurazione.

Termine o espressione	Descrizione
palette auto	L'immagine termica viene visualizzata con una distribuzione non uniforme dei colori, mostrando contemporaneamente sia gli oggetti freddi che quelli caldi.
parametri oggetto	Un gruppo di valori che descrive le circostanze in cui è stata eseguita la misurazione di un oggetto e l'oggetto stesso, quali emissività, temperatura ambiente, distanza ecc.
pixel	Abbreviazione di <i>picture element</i> : singolo punto di un'immagine.
potenza radiante	La quantità di energia emessa da un oggetto per unità di tempo (W).
puntatore laser	Una fonte di luce alimentata elettricamente che emette radiazione laser in un sottile raggio concentrato per puntare su certe parti di un soggetto posto davanti alla termocamera.
radianza	La quantità di energia emessa da un oggetto per unità di tempo, area e angolo ( $W/m^2/sr$ ).
radiatore	Un dispositivo radiante IR.
radiatore a cavità	Un radiatore a forma di bottiglia con un interno assorbente, osservato attraverso il collo di bottiglia.
radiazione	Il processo mediante il quale un oggetto o un gas emette energia elettromagnetica.
regolazione automatica	Una funzione che consente a una termocamera di eseguire una correzione interna dell'immagine.
regolazione continua	Una funzione che consente di regolare l'immagine. È sempre attiva e regola continuamente la luminosità e il contrasto in base al contenuto dell'immagine.
regolazione manuale	Un metodo per regolare l'immagine cambiando manualmente alcuni parametri.
riflettività	La quantità di radiazione riflessa da un oggetto rispetto alla radiazione ricevuta. Un valore compreso tra 0 e 1.
rumore	Piccoli disturbi indesiderati nell'immagine termica.
scala di temperatura	Il modo in cui viene visualizzata un'immagine termica. Viene espressa con due valori di temperatura che limitano i colori.
segnale di oggetto	Un valore non calibrato relativo alla quantità di radiazione che la termocamera riceve dall'oggetto.
tavolozza	L'insieme dei colori utilizzati per visualizzare un'immagine termica.

<b>Termine o espressione</b>	<b>Descrizione</b>
temperatura di colore	La temperatura per cui il colore di un corpo nero corrisponde a un colore specifico.
temperatura di riferimento	Una temperatura con cui possono essere confrontati i valori misurati ordinari.
termogramma	immagini a infrarossi (o termica)
trasmissione (o trasmittanza) fattore	I gas e i materiali possono essere più o meno trasparenti. La trasmissione è la quantità di radiazione IR che li attraversa. Un valore compreso tra 0 e 1.
trasmissione atmosferica calcolata	Un valore di trasmissione calcolato sulla base della temperatura, dell'umidità relativa dell'aria e della distanza dall'oggetto.
trasmissione atmosferica stimata	Un valore di trasmissione, fornito da un utente, che ne sostituisce uno calcolato.
umidità relativa	La percentuale di acqua presente nell'aria rispetto al valore fisicamente possibile. Varia a seconda della temperature dell'aria.
visibile	Indica la modalità video di una termocamera, in contrapposizione alla normale modalità termografica. Quando una termocamera è in modalità visibile, cattura le normali immagini video, mentre le immagini termografiche vengono catturate quando la termocamera è in modalità IR.

---

# 19 Tecniche di misurazione termografica

## 19.1 *Introduzione*

La termocamera consente di misurare e rappresentare la radiazione infrarossa emessa da un oggetto. La radiazione è una funzione della temperatura della superficie di un oggetto e la termocamera è in grado di calcolare e visualizzare tale temperatura.

Tuttavia, la radiazione rilevata dalla termocamera non dipende soltanto dalla temperatura dell'oggetto, ma è anche una funzione dell'emissività. La radiazione ha origine anche nelle zone circostanti l'oggetto e viene riflessa sull'oggetto stesso. La radiazione emessa dall'oggetto e quella riflessa variano anche in base all'assorbimento atmosferico.

Per rilevare la temperatura con precisione, è opportuno ovviare agli effetti provocati dalla presenza di diverse sorgenti di radiazione. Questa procedura viene eseguita automaticamente in tempo reale dalla termocamera. Tuttavia, è necessario che la termocamera disponga dei seguenti parametri che si riferiscono agli oggetti.

- L'emissività dell'oggetto
- Temperatura apparente riflessa
- La distanza tra l'oggetto e la termocamera
- L'umidità relativa
- Temperatura dell'atmosfera

## 19.2 *Emissività*

Poiché l'emissività è il parametro più importante dell'oggetto, è necessario che venga impostato correttamente. In breve, l'emissività è una misura che si riferisce alla quantità di radiazione termica emessa da un oggetto, comparata a quella emessa da un corpo nero perfetto della stessa temperatura.

Generalmente, i materiali di cui sono composti gli oggetti e i trattamenti effettuati sulle superfici presentano emissività comprese tra 0,1 e 0,95. Una superficie particolarmente lucida, ad esempio uno specchio, presenta un valore inferiore a 0,1, mentre una superficie ossidata o verniciata ha un livello di emissività superiore. Una vernice a base di olio ha un'emissività superiore a 0,9 nello spettro infrarosso, indipendentemente dal suo colore nello spettro visivo. La pelle umana è caratterizzata da un livello di emissività compreso fra 0,97 e 0,98.

I metalli non ossidati rappresentano un caso estremo di opacità perfetta e di elevata riflessività, la quale non subisce variazioni rilevanti al variare della lunghezza d'onda. Di conseguenza, l'emissività dei metalli è bassa: aumenta infatti solo con la temperatura. Per i non metalli, l'emissività tende a essere elevata e a diminuire con la temperatura.

## 19.2.1 Come stabilire l'emissività di un campione

### 19.2.1.1 Passaggio 1: determinazione della temperatura apparente riflessa

Utilizzare uno dei due metodi seguenti per determinare la temperatura apparente riflessa:

#### 19.2.1.1.1 Metodo 1: metodo diretto

- 1 Individuare possibili fonti di riflettività, tenendo in considerazione che l'angolo di incidenza = angolo di riflessione ( $a = b$ ).

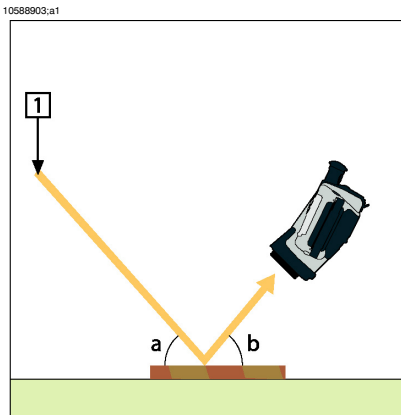
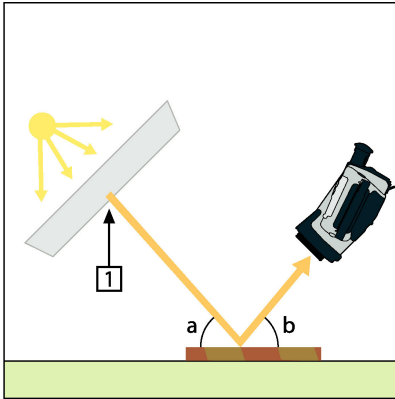


Figura 19.1 1 = Fonte di riflettività

2

Se la fonte di riflettività è una fonte puntiforme, modificare la fonte coprendola con un pezzo di cartone.

10589103.a2



**Figura 19.2** 1 = Fonte di riflettività

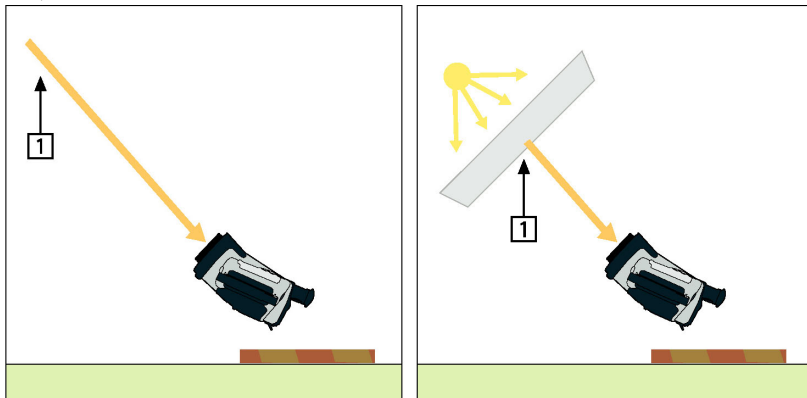
3

Misurare l'intensità di radiazione (uguale alla temperatura apparente) della sorgente di riflettività adottando le seguenti impostazioni:

- Emissività: 1.0
- $D_{obj}$ : 0

È possibile misurare l'intensità di radiazione adottando uno dei due metodi seguenti:

10589003.a2



**Figura 19.3** 1 = Fonte di riflettività

**Nota:** l'utilizzo di una termocoppia per la misurazione della temperatura apparente riflessa è sconsigliato per due importanti motivi:

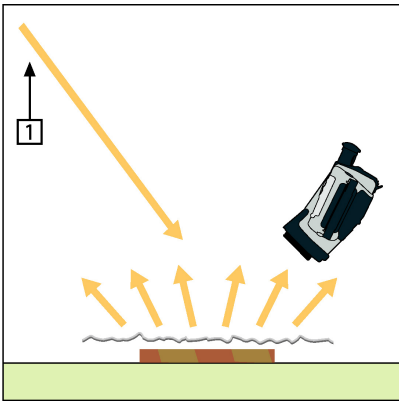
- una termocoppia non misura l'intensità di radiazione

- una termocoppia necessita di un eccellente contatto termico con la superficie, ottenuto solitamente incollando e ricoprendo il sensore con un isolatore termico.

### 19.2.1.1.2 Metodo 2: metodo del riflettore

1	Stropicciare un grosso pezzo di foglio d'alluminio.
2	Distenderlo e attaccarlo a un pezzo di cartone delle stesse dimensioni.
3	Posizionare il pezzo di cartone di fronte all'oggetto da sottoporre a misurazione. Verificare che il lato rivestito di foglio d'alluminio sia rivolto verso la termocamera.
4	Impostare l'emissività su 1,0.
5	Misurare la temperatura apparente del foglio d'alluminio e prendere nota del valore.

10727003:a2



**Figura 19.4** Misurazione della temperatura apparente del foglio d'alluminio

### 19.2.1.2 Passaggio 2: determinazione dell'emissività

1	Selezionare un luogo per posizionare il campione.
2	Determinare e impostare la temperatura apparente riflessa secondo la procedura indicata in precedenza.
3	Posizionare sul campione un pezzo di nastro elettrico con un'accertata emissività elevata.
4	Riscaldare il campione ad almeno 20 K oltre la temperatura ambiente. Il processo di riscaldamento deve essere abbastanza regolare.
5	Mettere a fuoco e regolare automaticamente la termocamera, quindi congelare l'immagine.
6	Regolare il livello e il campo per una luminosità e un contrasto dell'immagine migliori.
7	Impostare l'emissività come quella del nastro (solitamente 0,97).

8	Misurare la temperatura del nastro utilizzando una delle seguenti funzioni di misurazione: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Isoterma</b> (consente di determinare sia la temperatura sia la regolarità di riscaldamento del campione)</li> <li>▪ <b>Spot</b> (più semplice)</li> <li>▪ <b>Riquadro (medio)</b> (adatto a superfici con emissività variabile).</li> </ul>
9	Prendere nota della temperatura.
10	Spostare la funzione di misurazione sulla superficie del campione.
11	Modificare l'impostazione dell'emissività finché non si legge la stessa temperatura della misurazione precedente.
12	Prendere nota dell'emissività.

**Nota:**

- Evitare la convezione forzata.
- Cercare un ambiente termicamente stabile che non generi riflettività puntiforme.
- Utilizzare un nastro di alta qualità, non trasparente e di emissività elevata accertata.
- Con questo metodo, si presuppone che la temperatura del nastro e della superficie del campione siano uguali. In caso contrario, la misurazione dell'emissività risulterebbe errata.

### 19.3 *Temperatura apparente riflessa*

Questo parametro viene utilizzato per bilanciare la radiazione riflessa nell'oggetto. Se l'emissività è bassa e la temperatura dell'oggetto sensibilmente diversa da quella riflessa, risulta particolarmente importante impostare e bilanciare correttamente la temperatura apparente riflessa.

### 19.4 *Distanza*

Per distanza si intende la distanza esistente tra l'oggetto e l'obiettivo della termocamera. Questo parametro viene utilizzato per ovviare alle due condizioni seguenti:

- La radiazione del soggetto viene assorbita dall'atmosfera compresa fra l'oggetto e la termocamera.
- La termocamera rileva la radiazione dell'atmosfera stessa.

### 19.5 *Umidità relativa*

La termocamera consente anche di ovviare al fatto che la trasmittanza dipende in una certa misura dall'umidità relativa dell'atmosfera. Pertanto, è necessario impostare l'umidità relativa sul valore corretto. Per brevi distanze e un'umidità normale, è in genere possibile utilizzare il valore predefinito dell'umidità relativa pari al 50%.

## 19.6 *Altri parametri*

Alcune termocamere e programmi di analisi di FLIR Systems consentono anche di effettuare compensazioni per i seguenti parametri:

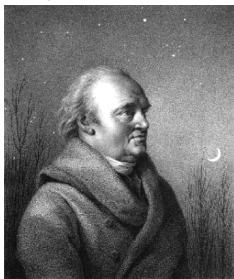
- Temperatura atmosferica, *cioè* la temperatura dell'atmosfera tra la termocamera e l'oggetto.
- Temperatura ottiche esterne, *cioè* la temperatura di obiettivi esterni o finestre utilizzati nella parte anteriore della termocamera.
- Trasmissione ottiche esterne, *cioè* la trasmissione di obiettivi esterni o finestre utilizzati nella parte anteriore della termocamera.

---

## 20 Storia della tecnologia a infrarossi

Fino a 200 anni fa circa, non si sospettava neanche l'esistenza della porzione a infrarossi dello spettro elettromagnetico. Il significato originale dello spettro infrarosso o, come spesso viene chiamato, semplicemente "infrarosso", come forma di irradiazione di calore è forse meno ovvio oggi di quanto non lo fosse ai tempi in cui è stato scoperto da Herschel, nel 1800.

10386703.a1



**Figura 20.1** Sir William Herschel (1738–1822)

La scoperta avvenne accidentalmente durante la ricerca di un nuovo materiale ottico. Sir William Herschel, astronomo reale del re Giorgio III d'Inghilterra e già famoso per aver scoperto il pianeta Urano, era alla ricerca di un filtro ottico in grado di ridurre la luminosità dell'immagine del sole nei telescopi durante le osservazioni. Mentre provava diversi campioni di vetro colorato che fornivano analoghe riduzioni di luminosità, fu attratto dalla constatazione che alcuni di questi campioni filtravano quantità ridotte del calore del sole, mentre altri ne filtravano così tanto che egli rischiò di ferirsi gli occhi dopo solo pochi secondi di osservazione.

Herschel si convinse presto della necessità di condurre un esperimento sistematico, con l'obiettivo di individuare un unico materiale in grado di ridurre la luminosità ai valori desiderati e allo stesso tempo di ridurre al massimo il calore. All'inizio, i suoi esperimenti si basarono sull'esperimento del prisma condotto da Newton, ma furono rivolti più all'effetto termico che alla distribuzione visiva dell'intensità nello spettro. Herschel annerì con inchiostro il bulbo di un termometro sensibile contenente mercurio e lo utilizzò come rilevatore di radiazioni per studiare l'effetto termico dei vari colori dello spettro, definiti in base a una tabella, mediante il passaggio di luce solare attraverso un prisma di vetro. Altri termometri, collocati al riparo dai raggi del sole, servivano da elementi di controllo.

Man mano che il termometro annerito veniva spostato lentamente lungo i colori dello spettro, i valori della temperatura mostravano un aumento costante passando dal violetto al rosso. Il risultato non era del tutto impreveduto, considerato che il ricercatore italiano Landriani aveva osservato lo stesso effetto in un esperimento analogo condotto nel 1777. Fu Herschel, tuttavia, il primo a riconoscere l'esistenza di un punto in cui l'effetto termico raggiunge un massimo e che le misurazioni limitate alla porzione visibile dello spettro non erano in grado di individuare questo punto.

10389903.a.1



20

**Figura 20.2** Marsilio Landriani (1746–1815)

Spostando il termometro nella regione scura, oltre l'estremità rossa dello spettro, Herschel ebbe la conferma che il calore continuava ad aumentare. Il punto massimo venne individuato da Herschel ben oltre l'estremità rossa, in quelle che oggi chiamiamo le “lunghezze d'onda degli infrarossi”.

Quando Herschel compì la sua scoperta, denominò questa nuova porzione dello spettro elettromagnetico “spettro termometrico”. Definì la radiazione stessa a volte come “calore nero”, a volte semplicemente come “raggi invisibili”. Paradossalmente, e contrariamente a quanto si pensa, non fu Herschel a introdurre il termine “infrarosso”. La parola cominciò a comparire nei testi circa 75 anni più tardi e non è stato ancora chiarito a chi attribuirne la paternità.

L'uso del vetro nel prisma fatto da Herschel nel suo primo esperimento originale sollevò alcune dispute tra i suoi contemporanei sull'esistenza effettiva delle lunghezze d'onda degli infrarossi. Diversi ricercatori, nel tentativo di confermare i risultati del suo lavoro, utilizzarono indiscriminatamente vari tipi di vetro, ottenendo trasparenze diverse nell'infrarosso. Nei suoi esperimenti successivi, Herschel si rese conto della trasparenza limitata del vetro rispetto alla radiazione termica recentemente scoperta e fu costretto a concludere che l'ottica per l'infrarosso era probabilmente determinata esclusivamente dall'uso di elementi riflessivi, quali specchi piani o curvati. Fortunatamente, ciò si dimostrò vero solo fino al 1830, quando il ricercatore italiano Melloni fece una scoperta molto importante: il salgemma presente in natura (NaCl), contenuto nei cristalli naturali sufficientemente grandi per produrre lenti e prismi, è notevolmente

trasparente all'infrarosso. Il risultato fu che il salgemma divenne il principale materiale ottico infrarosso nei successivi cento anni, fino a quando non si perfezionò la produzione di cristalli sintetici negli anni '30 del XX secolo.

10389103.a1



**Figura 20.3** Macedonio Melloni (1798–1854)

I termometri utilizzati come rilevatori di radiazioni rimasero immutati fino al 1829, anno in cui Nobili inventò la termocoppia. (Il termometro di Herschel poteva segnare fino a 0,2 °C di temperatura, i modelli successivi fino a 0,05 °C). Grazie a Melloni, che collegò una serie di termocoppie in sequenza per formare la prima termopila, si realizzò una svolta decisiva. Il nuovo dispositivo era almeno 40 volte più sensibile del miglior termometro disponibile allora per il rilevamento dell'irradiazione di calore, in grado di rilevare il calore di una persona a tre metri di distanza.

La prima cosiddetta “immagine del calore” fu possibile nel 1840, frutto del lavoro di Sir John Herschel, figlio dello scopritore dell'infrarosso e già famoso astronomo. In base all'evaporazione differenziale di una sottile pellicola di olio esposta a un modello termico, l'immagine termica poteva essere visualizzata dalla luce riflessa, laddove l'interferenza della pellicola di olio rendeva l'immagine visibile all'occhio umano. Sir John riuscì inoltre a ottenere un primitivo risultato di immagine termica su carta, che denominò “termografia”.

10389003.a2



20

**Figura 20.4** Samuel P. Langley (1834–1906)

Il perfezionamento della sensibilità del rilevatore di raggi infrarossi proseguì lentamente. Un'altra scoperta importante, il cui autore fu Langley nel 1880, fu l'invenzione del bolometro. Questo strumento era costituito da una sottile striscia annerita di platino collegata a un ramo di un circuito a ponte Wheatstone, esposta alle radiazioni dei raggi infrarossi e collegata a un galvanometro sensibile. Allo strumento era stata attribuita la capacità di rilevare il calore di una mucca a una distanza di 400 metri.

Lo scienziato inglese Sir James Dewar fu il primo a introdurre l'uso di gas liquefatti come agenti di raffreddamento, come l'azoto liquido a una temperatura di  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  nella ricerca sulle basse temperature. Nel 1892 inventò un contenitore a chiusura ermetica in cui era possibile conservare gas liquefatti per giorni interi. Il comune "thermos", utilizzato per conservare bevande calde o fredde, si basa su questa invenzione.

Tra il 1900 e il 1920, venne "scoperto" l'infrarosso. Furono concessi molti brevetti per dispositivi in grado di rilevare individui, artiglieria, velivoli, navi e perfino iceberg. Il primo sistema operativo, nel senso moderno, venne sviluppato durante la prima guerra mondiale, quando entrambe le parti in conflitto conducevano programmi di ricerca dedicati allo sfruttamento militare dell'infrarosso. Questi programmi includevano sistemi sperimentali per il rilevamento di intrusioni nemiche, il rilevamento della temperatura di oggetti lontani, le comunicazioni sicure e la guida dei "missili guidati". Un sistema di ricerca a infrarossi collaudato durante questo periodo era in grado di rilevare un velivolo in avvicinamento a una distanza di 1,5 km o una persona a più di 300 metri.

In questo periodo, i sistemi più sensibili furono tutti basati su variazioni dell'idea di bolometro, ma fu nel periodo tra le due guerre che si assistette allo sviluppo di due nuovi rilevatori di raggi infrarossi rivoluzionari: il convertitore di immagini e il rilevatore di fotoni. All'inizio, il convertitore di immagini ricevette un'estrema attenzione da parte del settore militare, perché consentì per la prima volta nella storia, letteralmente, di "vedere nel buio". Tuttavia, la sensibilità del convertitore di immagini era limitata alle

lunghezze d'onda degli infrarossi vicini e gli obiettivi militari più interessanti, i soldati nemici, dovevano essere illuminati da raggi di ricerca a infrarossi. Considerato che ciò comportava il rischio di annullare il vantaggio dell'osservatore perché il nemico poteva essere analogamente equipaggiato, è comprensibile che l'interesse militare per il convertitore di immagini alla fine diminuì.

Gli svantaggi militari tattici dei cosiddetti sistemi di imaging termico “attivi”, vale a dire attrezzati con raggi di ricerca, fornirono l'occasione dopo la seconda guerra mondiale per ulteriori ricerche sugli infrarossi coperte da segreto militare, mirati allo sviluppo di sistemi “passivi”, privi di raggi di ricerca, basati sul rilevatore di fotoni particolarmente sensibile. Durante questo periodo, i regolamenti sul segreto militare impedirono la diffusione della tecnologia di imaging a infrarossi. Solo alla metà degli anni '50 il segreto fu rimosso e i dispositivi di imaging termico cominciarono ad essere disponibili per la scienza e l'industria civili.

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

# 21 Teoria della termografia

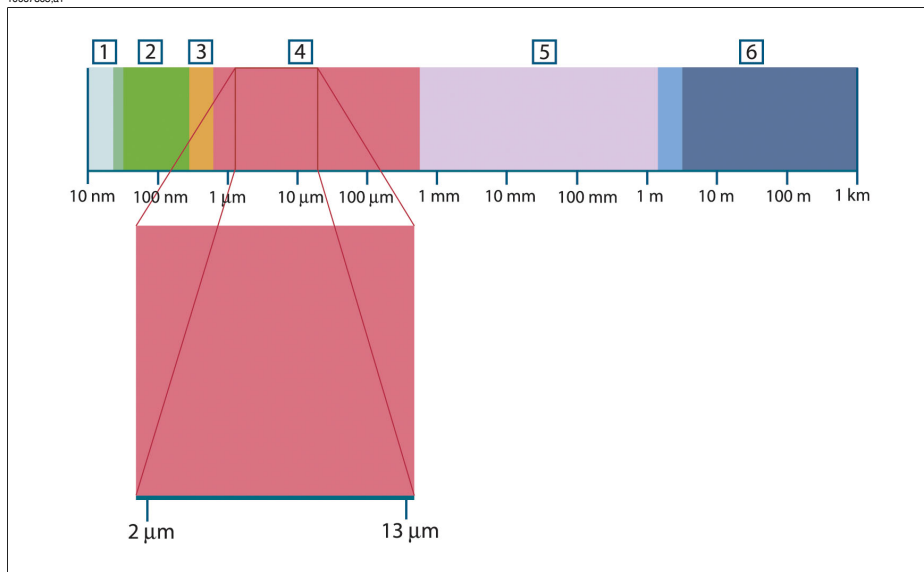
## 21.1 Introduzione

Gli argomenti riguardanti le radiazioni infrarosse e la relativa tecnica termografica sono spesso poco noti a molti utilizzatori di termocamere a infrarossi. In questa sezione viene fornita una descrizione della teoria che sottende il concetto di termografia.

## 21.2 Lo spettro elettromagnetico

Lo spettro elettromagnetico è suddiviso arbitrariamente in un certo numero di regioni classificate in base alla lunghezza d'onda e denominate *bande*, distinte a seconda dei metodi utilizzati per emettere e rilevare le radiazioni. Non esiste alcuna differenza sostanziale tra le radiazioni presenti nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico: tutte sono governate dalle stesse leggi e le sole differenze sono quelle determinate dalle diverse lunghezze d'onda.

10067803.a1



**Figura 21.1** Lo spettro elettromagnetico. 1: raggi X; 2: ultravioletto; 3: luce visibile; 4: infrarosso; 5: microonde; 6: onde radio.

La termografia utilizza la banda spettrale dell'infrarosso. Il confine delle onde corte è situato al limite della percezione visiva, nella parte rossa dello spettro. Il confine delle onde lunghe si fonde con la lunghezza d'onda delle microonde radio, nell'intervallo delle onde millimetriche.

La banda dell'infrarosso è spesso ulteriormente suddivisa in quattro bande più piccole, i cui confini vengono anch'essi scelti in modo arbitrario. Le bande comprendono: *infrarosso vicino* (0,75–3  $\mu\text{m}$ ), *infrarosso medio* (3–6  $\mu\text{m}$ ), *infrarosso lontano* (6–15  $\mu\text{m}$ ) e *infrarosso estremo* (15–100  $\mu\text{m}$ ). Anche se le lunghezze d'onda sono espresse in  $\mu\text{m}$  (micrometri), per misurare la lunghezza d'onda in questa regione dello spettro è spesso possibile utilizzare anche altre unità di misura, *ad esempio* nanometri (nm) e Ångström (Å).

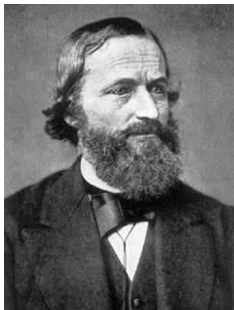
Il rapporto tra le diverse unità di misura della lunghezza d'onda è:

$$10\,000\ \text{Å} = 1\,000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

### 21.3 *Radiazione del corpo nero*

Per corpo nero si intende un oggetto che assorbe tutte le radiazioni che lo colpiscono a una lunghezza d'onda qualsiasi. L'utilizzo dell'apparente termine improprio *nero* riferito a un oggetto che emette radiazioni, è spiegato dalla legge di Kirchhoff (*Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887), la quale afferma che un corpo in grado di assorbire tutte le radiazioni a una lunghezza d'onda qualsiasi è ugualmente in grado di emettere radiazioni.

10398803.a1



**Figura 21.2** Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

La costruzione della sorgente di un corpo nero è, in linea di massima, molto semplice. Le caratteristiche delle radiazioni dell'apertura di una cavità isotermica costituita da un materiale opaco assorbente, rappresentano quasi esattamente le proprietà di un corpo nero. Un'applicazione pratica del principio per la costruzione di un perfetto assorbitore di radiazioni, è rappresentata da una scatola nascosta alla luce a eccezione di un'apertura su uno dei lati. Qualsiasi tipo di radiazione entri successivamente all'interno del foro viene diffuso e assorbito da ripetute riflessioni, in modo che solo una frazione infinitesimale possa sfuggire. L'oscurità ottenuta in corrispondenza dell'apertura è quasi simile a un corpo nero e pressoché perfetta per tutte le lunghezze d'onda.

Se la cavità isoterma viene riscaldata adeguatamente, questa diventa ciò che si definisce un *radiatore a cavità*. Una cavità isoterma riscaldata a una temperatura uniforme genera la radiazione di un corpo nero, le cui caratteristiche vengono stabilite unicamente in base alla temperatura della cavità. Tali radiatori di cavità vengono comunemente usati in laboratorio come sorgenti di radiazione negli standard di riferimento della temperatura per la calibrazione di strumenti termografici, quali ad esempio le termocamere FLIR Systems.

Se la temperatura della radiazione del corpo nero aumenta raggiungendo un valore superiore a 525°C, la sorgente comincia a diventare visibile in modo da non apparire più nera all'occhio umano. Questo rappresenta la temperatura del radiatore che inizialmente è rossa e successivamente diventa arancione o gialla quando aumenta ulteriormente. Infatti, per *temperatura di colore* di un oggetto si intende la temperatura che un corpo nero dovrebbe raggiungere per avere lo stesso aspetto.

Si considerino ora tre espressioni che descrivono la radiazione emessa da un corpo nero.

### 21.3.1 La legge di Planck

10399203.a1



**Figura 21.3** Max Planck (1858–1947)

*Max Planck* (1858–1947) fu in grado di descrivere la distribuzione spettrale della radiazione emessa da un corpo nero mediante la formula seguente:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left( e^{hc/\lambda kT} - 1 \right)} \times 10^{-6} [\text{Watt} / \text{m}^2, \mu\text{m}]$$

dove:

$W_{\lambda b}$	Emittanza energetica spettrale del corpo nero alla lunghezza d'onda $\lambda$ .
-----------------	---

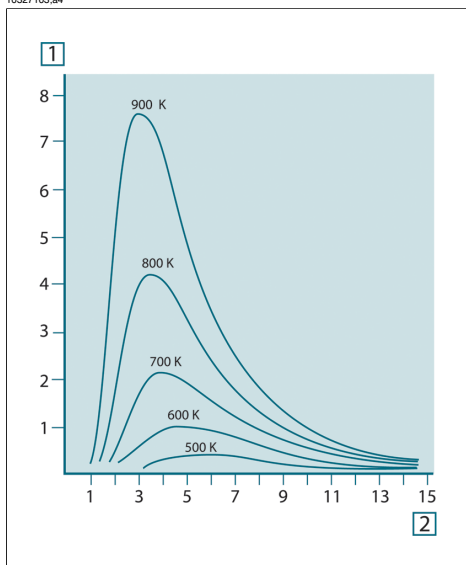
c	Velocità della luce = $3 \times 10^8$ m/s
h	Costante di Planck = $6,6 \times 10^{-34}$ Joule sec.
k	Costante di Boltzmann = $1,4 \times 10^{-23}$ Joule/K.
T	Temperatura assoluta (K) di un corpo nero.
$\lambda$	Lunghezza d'onda ( $\mu\text{m}$ ).

☛ Il fattore  $10^{-6}$  viene utilizzato poiché l'emittanza spettrale sulle curve è espressa in Watt/m<sup>2</sup>,  $\mu\text{m}$ .

La formula di Planck, se rappresentata graficamente per le diverse temperature, genera una famiglia di curve. Seguendo una qualsiasi curva di Planck, l'emittanza spettrale è zero per  $\lambda = 0$ , successivamente aumenta rapidamente fino a raggiungere il massimo in corrispondenza della lunghezza d'onda  $\lambda_{\text{max}}$  e, dopo averla raggiunta, si avvicina nuovamente a zero per lunghezze d'onda elevate. Maggiore è la temperatura, minore è la lunghezza d'onda alla quale si raggiunge il massimo.

21

10327103.a4



**Figura 21.4** Emittanza energetica spettrale di un corpo nero, secondo la legge di Planck, rappresentata graficamente per diverse temperature assolute. 1:Emittanza energetica spettrale ( $\text{W/cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$ ); 2: Lunghezza d'onda ( $\mu\text{m}$ )

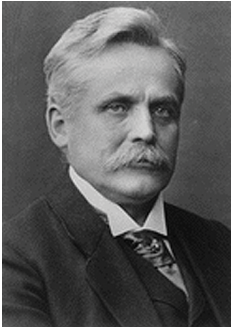
### 21.3.2 La legge di spostamento di Wien

Differenziandosi dalla formula di Planck relativamente a  $\lambda$ , e trovando il massimo, si ottiene:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} [\mu m]$$

La formula di Wien (*Wilhelm Wien*, 1864-1928) descritta precedentemente rappresenta matematicamente l'osservazione comune in base alla quale i colori variano dal rosso all'arancione o al giallo con l'aumentare della temperatura di un radiatore termico. La lunghezza d'onda del colore è la stessa lunghezza calcolata per  $\lambda_{\max}$ . Una buona approssimazione del valore di  $\lambda_{\max}$  per una data temperatura del corpo nero si ottiene applicando la regola empirica  $3\,000/T \mu m$ . Per questo, una stella molto calda come Sirio (11.000 K), che emette una luce bianca tendente al blu, irradia con il picco di emittanza energetica spettrale che si sviluppa all'interno dello spettro invisibile dell'ultravioletto, alla lunghezza d'onda di 0,27  $\mu m$ .

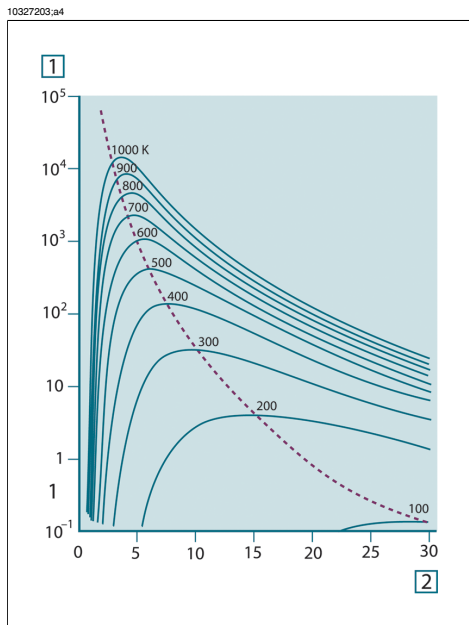
10399403.a1



**Figura 21.5** Wilhelm Wien (1864–1928)

Il sole (circa 6.000 °K) emette luce gialla, raggiungendo il picco a circa 0,5  $\mu m$  nella parte centrale dello spettro di luce visibile.

A temperatura ambiente (300 °K), il picco di emittanza spettrale si trova a 9,7  $\mu m$ , negli infrarossi lontani, mentre alla temperatura dell'azoto liquido (77 °K) il massimo della quantità di emittanza spettrale, peraltro pressoché insignificante, si raggiunge a 38  $\mu m$ , nelle lunghezze d'onda degli infrarossi estremi.



**Figura 21.6** Curve di Planck rappresentate graficamente su scale semilogaritmiche da 100 °K a 1000 °K. La linea tratteggiata rappresenta il punto di massima emittanza spettrale per ogni valore di temperatura, come descritto dalla legge di Wien. 1: Emittanza energetica spettrale (W/cm² (μm)); 2: Lunghezza d'onda (μm).

### 21.3.3 Legge di Stefan-Boltzmann

Integrando la formula di Planck da  $\lambda = 0$  a  $\lambda = \infty$ , è possibile ottenere l'emittanza radiante totale ( $W_b$ ) di un corpo nero:

$$W_b = \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

La formula di Stefan-Boltzmann (*Josef Stefan*, 1835–1893, e *Ludwig Boltzmann*, 1844–1906) descritta precedentemente afferma che la quantità totale di energia emessa da un corpo nero è proporzionale alla temperatura assoluta elevata alla quarta potenza. Graficamente,  $W_b$  rappresenta l'area al di sotto della curva di Planck relativa a una data temperatura. È possibile dimostrare che l'emittanza radiante compresa nell'intervallo da  $\lambda = 0$  a  $\lambda_{max}$  è solo il 25% del totale, il che rappresenta quasi la quantità della radiazione solare presente nello spettro di luce visibile.

10399303.a1



**Figura 21.7** Josef Stefan (1835–1893) e Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Se si utilizza la formula di Stefan-Boltzmann per calcolare l'energia irradiata dal corpo umano, a una temperatura di 300 K e una superficie esterna di circa 2 m<sup>2</sup>, è possibile ottenere 1 kW. Questa perdita di energia non potrebbe essere sostenuta se non esistesse l'assorbimento di compensazione della radiazione dalle superfici circostanti, a temperature ambiente che non variano troppo drasticamente rispetto alla temperatura corporea, oppure, naturalmente, dall'aggiunta di indumenti.

21

### 21.3.4 Emettitori diversi dai corpi neri

Finora sono stati descritti solo i radiatori di corpo nero e la radiazione emessa da un corpo nero. Tuttavia, su una regione di lunghezza d'onda estesa, gli oggetti reali non rispettano quasi mai le leggi sopra illustrate – anche se tali oggetti, in taluni intervalli spettrali, potrebbero comportarsi come un corpo nero. Ad esempio, un dato tipo di vernice bianca può apparire perfettamente *bianca* nello spettro di luce visibile, ma diventa distintamente *grigia* a circa 2 μm, mentre oltre i 3 μm è pressoché *nera*.

Tre sono i processi che possono verificarsi e che impediscono a un oggetto reale di comportarsi come un corpo nero: una frazione della radiazione incidente  $\alpha$  può essere assorbita, una frazione  $\rho$  può essere riflessa, mentre un'altra  $\tau$  può essere trasmessa. Poiché tali fattori dipendono più o meno dalla lunghezza d'onda, l'indice  $\lambda$  viene utilizzato per stabilire la dipendenza spettrale delle loro definizioni. Pertanto:

- il coefficiente di assorbimento spettrale  $\alpha_\lambda$  = il rapporto tra il flusso energetico spettrale assorbito da un oggetto e quello incidente;
- il coefficiente di assorbimento spettrale  $\rho_\lambda$  = il rapporto tra il flusso energetico spettrale assorbito da un oggetto e quello incidente;
- il coefficiente di assorbimento spettrale  $\tau_\lambda$  = il rapporto tra il flusso energetico spettrale assorbito da un oggetto e quello incidente;

La somma di questi tre fattori va sempre aggiunta al totale a qualsiasi lunghezza d'onda, in modo da ottenere la seguente relazione:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Per i materiali opachi  $\tau_\lambda = 0$ , quindi la relazione si semplifica in:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Un altro fattore, denominato emissività, è necessario per descrivere la frazione  $\varepsilon$  dell'emittanza radiante di un corpo nero prodotta da un oggetto a una data temperatura. Si ottiene quindi la definizione seguente:

L'emissività spettrale  $\varepsilon_\lambda$  = il rapporto tra il flusso energetico spettrale emesso da un oggetto e quello emesso da un corpo nero alla stessa temperatura e lunghezza d'onda.

Il rapporto tra l'emittanza spettrale di un oggetto e quella di un corpo nero può essere descritto mediante la seguente formula matematica:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

21

In generale, esistono tre tipi di sorgenti di radiazione, distinti in base alle modalità in cui l'emittanza spettrale di ciascuno varia con il variare della lunghezza d'onda.

- Un corpo nero, per cui  $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Un corpo grigio, per cui  $\varepsilon_\lambda = \varepsilon =$  costante inferiore a 1
- Un radiatore selettivo per cui  $\varepsilon$  varia in base alla lunghezza d'onda

In base alla legge di Kirchhoff, per qualsiasi materiale, l'emissività e l'assorbimento spettrali di un corpo sono uguali per qualsiasi temperatura e lunghezza d'onda specifiche. In formula:

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

Da questo si ottiene, per un materiale opaco (poiché  $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ ):

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

Per i materiali particolarmente lucidi  $\varepsilon_\lambda$  tende a zero in modo che, per un materiale perfettamente riflettente (*ad esempio* uno specchio) si avrà:

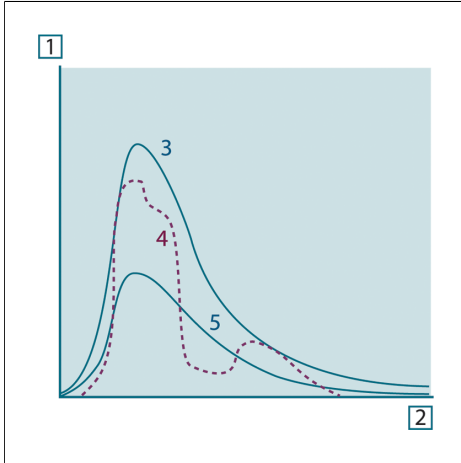
$$\rho_\lambda = 1$$

Per il radiatore di un corpo grigio, la formula di Stefan-Boltzmann diventa:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

La formula dimostra che il potere emissivo totale di un corpo grigio è identico a quello di un corpo nero alla stessa temperatura ridotta in proporzione al valore di  $\varepsilon$  del corpo grigio.

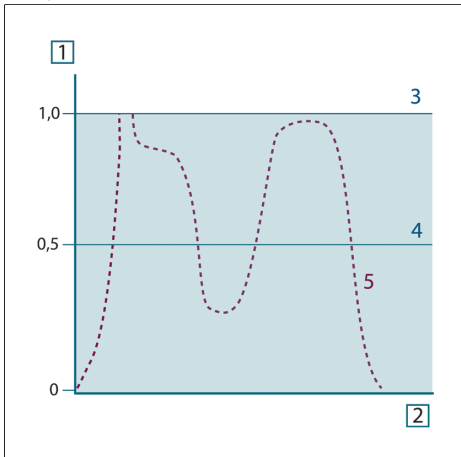
10401203.a2



**Figura 21.8** Emittanza energetica spettrale di tre tipi di radiatori. 1: emittanza energetica spettrale; 2: lunghezza d'onda; 3: corpo nero; 4: radiatore selettivo; 5: corpo grigio.

21

10327303.a4



**Figura 21.9** Emissività spettrale di tre tipi di radiatori. 1: emissività spettrale; 2: lunghezza d'onda; 3: corpo nero; 4: corpo grigio; 5: radiatore selettivo.

## 21.4 Materiali semitrasparenti agli infrarossi

Si consideri ora un corpo non metallico semitrasparente, ad esempio una spessa lastra di materiale plastico. Quando la lastra viene riscaldata, la radiazione generata al suo interno si propaga attraverso il materiale fino a raggiungere le superfici in cui la radiazione viene parzialmente assorbita. Inoltre, quando la radiazione raggiunge la superficie, una parte di essa viene nuovamente riflessa verso l'interno e parzialmente assor-

bita, ma una parte di questa radiazione raggiunge l'altra superficie attraverso cui fuoriesce in gran parte, mentre un'altra sua parte viene nuovamente riflessa. Anche se le riflessioni progressive diventano sempre più deboli, è necessario sommarle quando si calcola l'emittanza totale della lastra. Quando viene eseguita la somma della serie geometrica ottenuta, l'emissività effettiva di una lastra semitrasparente è data da:

$$\varepsilon_{\lambda} = \frac{(1 - \rho_{\lambda})(1 - \tau_{\lambda})}{1 - \rho_{\lambda}\tau_{\lambda}}$$

Quando la lastra diventa opaca questa formula viene così semplificata:

$$\varepsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda}$$

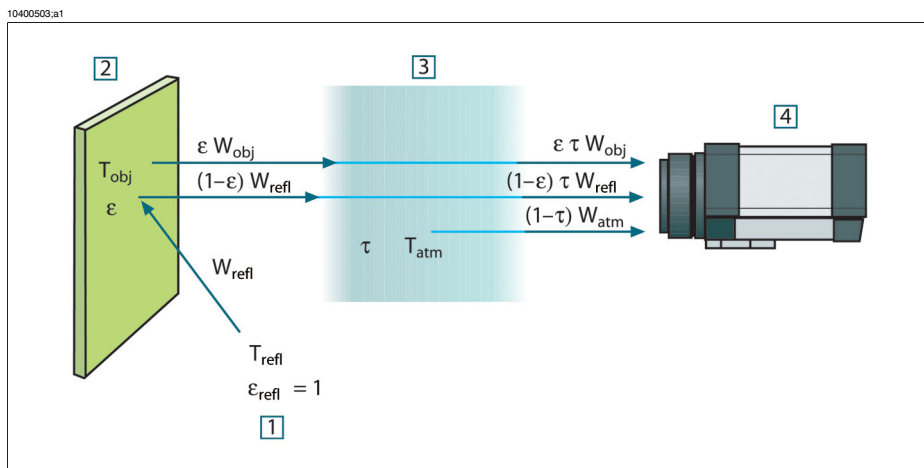
Quest'ultima relazione risulta particolarmente utile, poiché spesso è più semplice misurare direttamente la riflettanza piuttosto che l'emissività.

## 22 La formula di misurazione

Come illustrato in precedenza, quando è in azione, la termocamera riceve radiazioni anche da sorgenti diverse dall'oggetto sotto osservazione. Le radiazioni provengono inoltre dall'area circostante l'oggetto, riflessa tramite la superficie dell'oggetto stesso. Queste radiazioni vengono attenuate, in qualche misura, dall'atmosfera nel percorso di misurazione. A queste deve aggiungersi un terzo tipo proveniente dall'atmosfera stessa.

La descrizione della situazione di misurazione, come illustrata nella figura seguente, è sufficientemente fedele alle condizioni reali. È possibile che siano stati trascurati alcuni elementi, come la dispersione di luce solare nell'atmosfera o le radiazioni vaganti provenienti da sorgenti di radiazione intensa, esterne al campo visivo. Tali interferenze sono difficili da quantificare e comunque, nella maggior parte dei casi, sono talmente piccole da poter essere trascurate. Qualora non fossero così trascurabili, la configurazione della misurazione sarebbe probabilmente tale da causare rischi di interferenze, quanto meno all'occhio di un operatore esperto. È quindi responsabilità dell'operatore modificare la situazione di misurazione per evitare interferenze, modificando ad esempio la direzione di visualizzazione, schermando le sorgenti di radiazione intensa e così via.

In base a quanto chiarito, è possibile utilizzare la figura sotto riportata per ottenere una formula per il calcolo della temperatura di un oggetto in base al segnale di uscita della termocamera calibrata.



**Figura 22.1** Una rappresentazione schematica della situazione di misurazione termografica generale. 1: area circostante; 2: oggetto; 3: atmosfera; 4: termocamera

Si supponga che l'energia irradiata ricevuta  $W$  dalla sorgente di un corpo nero di temperatura  $T_{source}$  su distanze corte generi un segnale di uscita della termocamera  $U_{source}$ , proporzionale all'energia in entrata (termocamera ad energia lineare). È quindi possibile scrivere (Equazione 1):

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

o con notazione semplificata:

$$U_{source} = CW_{source}$$

dove  $C$  è una costante.

Se la sorgente è un corpo grigio con emittanza  $\epsilon$ , la radiazione ricevuta sarà di conseguenza  $\epsilon W_{source}$ .

È ora possibile scrivere i tre termini dell'energia irradiata ricevuta:

1 – *Emissione dall'oggetto* =  $\epsilon\tau W_{obj}$ , dove  $\epsilon$  è l'emittanza dell'oggetto e  $\tau$  è la trasmittanza dell'atmosfera. La temperatura dell'oggetto è  $T_{obj}$ .

2 – *Emissione riflessa dalle sorgenti ambiente* =  $(1 - \epsilon)\tau W_{refl}$ , dove  $(1 - \epsilon)$  è la riflettanza dell'oggetto. Le sorgenti ambiente hanno la temperatura  $T_{refl}$ .

Questo esempio suppone che la temperatura  $T_{refl}$  sia la stessa per tutte le superficie emittenti interne alla semisfera, viste da un punto sulla superficie dell'oggetto. Si tratta ovviamente di una semplificazione della situazione reale. Tuttavia, la semplificazione è necessaria per ottenere una formula operativa e  $T_{refl}$ , almeno teoricamente, è possibile assegnarle un valore che rappresenti una temperatura valida per un'area complessa.

Si noti inoltre che, per ipotesi, l'emittanza dell'area circostante l'oggetto è = 1, rispettando in tal modo la legge di Kirchhoff, secondo la quale tutte le radiazioni che urtano le superfici dell'area circostante un'oggetto verranno alla fine assorbite dalle superfici stesse. Quindi, l'emittanza è = 1. (Si noti tuttavia che l'ultimo punto suppone che si prenda in considerazione tutta la sfera intorno all'oggetto).

3 – *Emissione dall'atmosfera* =  $(1 - \tau)\tau W_{atm}$ , dove  $(1 - \tau)$  è l'emittanza dell'atmosfera. La temperatura dell'atmosfera è  $T_{atm}$ .

È ora possibile scrivere l'energia irradiata totale ricevuta (Equazione 2):

$$W_{tot} = \epsilon\tau W_{obj} + (1 - \epsilon)\tau W_{refl} + (1 - \tau)W_{atm}$$

Moltiplicare ciascun termine per la costante  $C$  dell'Equazione 1 e sostituire i prodotti  $CW$  con il valore  $U$  corrispondente, in base alla medesima equazione, quindi ricavare (Equazione 3):

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1 - \varepsilon)\tau U_{refl} + (1 - \tau)U_{atm}$$

Risolvere l'Equazione 3 per  $U_{obj}$  (Equazione 4):

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau} U_{tot} - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} U_{refl} - \frac{1 - \tau}{\varepsilon\tau} U_{atm}$$

Questa è la formula di misurazione generale utilizzata da tutte le apparecchiature termografiche FLIR Systems. I valori di tensione della formula sono:

**Figura 22.2** Tensioni

$U_{obj}$	Tensione di uscita calcolata della termocamera per un corpo nero di temperatura $T_{obj}$ ; vale a dire una tensione direttamente convertibile nella temperatura reale dell'oggetto desiderato.
$U_{tot}$	Tensione di uscita misurata della termocamera per il caso specifico.
$U_{refl}$	Tensione di uscita teorica della termocamera per un corpo nero di temperatura $T_{refl}$ in base alla calibrazione.
$U_{atm}$	Tensione di uscita teorica della termocamera per un corpo nero di temperatura $T_{atm}$ in base alla calibrazione.

L'operatore deve fornire i valori di una serie di parametri per il calcolo:

- l'emittanza dell'oggetto  $\varepsilon$
- l'umidità relativa
- $T_{atm}$
- la distanza dell'oggetto ( $D_{obj}$ )
- la temperatura (effettiva) dell'area circostante l'oggetto o la temperatura ambientale riflessa  $T_{refl}$
- la temperatura dell'atmosfera  $T_{atm}$

A volte, tale compito può risultare oneroso per l'operatore, poiché in genere non è facile ricavare i valori precisi dell'emittanza e della trasmittanza atmosferica per il caso specifico. In genere, le due temperature non costituiscono un problema, ammesso che l'area circostante l'oggetto non contenga sorgenti di radiazione intensa e di grandi dimensioni.

A questo punto, è naturale domandarsi quanto sia importante conoscere i valori corretti di tali parametri. Potrebbe quindi essere interessante avere subito un'idea del problema, osservando diversi casi di misurazione e confrontando le grandezze relative dei tre termini di radiazione. Ciò fornirà indicazioni utili per determinare quando è importante utilizzare i valori corretti di questi parametri.

Le figure seguenti illustrano le grandezze relative dei tre tipi di radiazione per le temperature di tre diversi oggetti, due emittanze e due intervalli spettrali: SW e LW. Gli altri parametri hanno i seguenti valori fissi:

- $\tau = 0,88$
- $T_{\text{refl}} = +20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^{\circ}\text{C}$

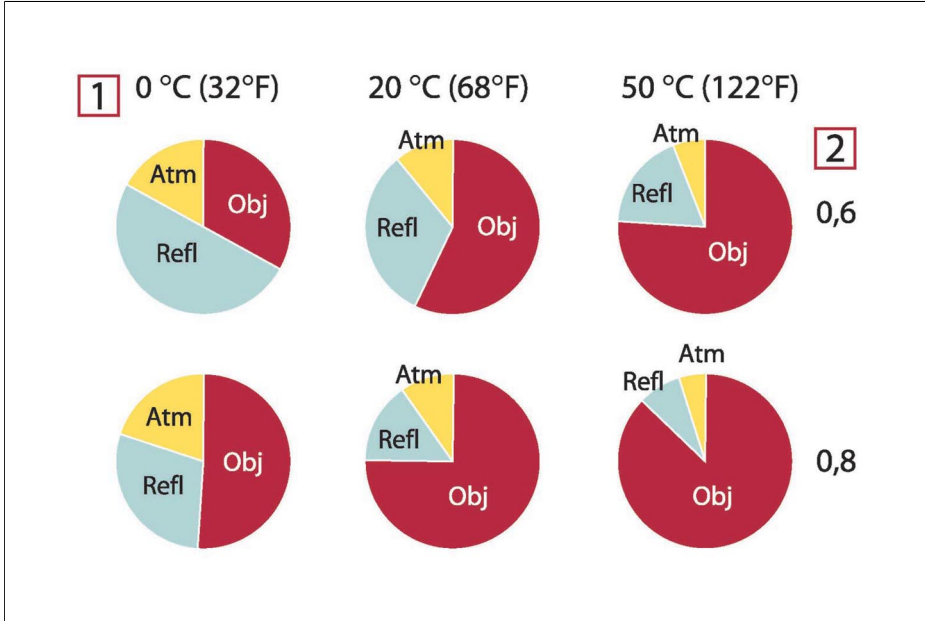
Ovviamente, la misurazione di temperature basse è più delicata della misurazione di quelle alte, in quanto le sorgenti di radiazione di disturbo sono relativamente più forti nel primo caso. Se anche il valore dell'emittanza dell'oggetto fosse basso, la situazione sarebbe ancora più difficile.

Infine, è necessario chiarire l'importanza dell'uso della curva di taratura sul punto di taratura più alto, chiamato anche estrapolazione. Si supponga che in una determinata circostanza  $U_{\text{tot}}$  sia = 4,5 volt. Il punto di taratura più elevato per la termocamera era nell'ordine di 4,1 volt, un valore sconosciuto all'operatore. Quindi, anche se l'oggetto era un corpo nero, come  $U_{\text{obj}} = U_{\text{tot}}$ , in realtà si esegue un'estrapolazione della curva di taratura, convertendo i 4,5 volt nella temperatura.

22

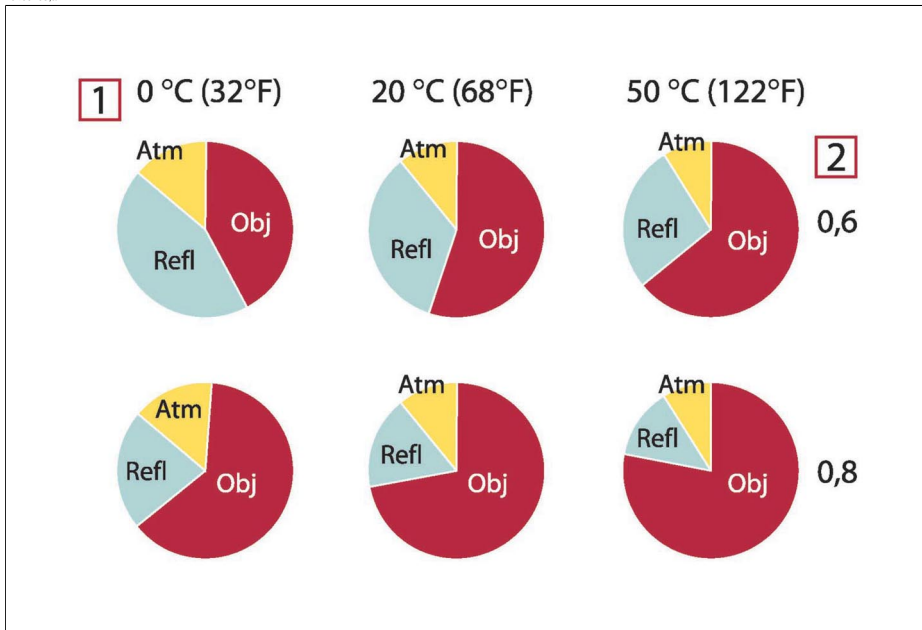
Si supponga ora che l'oggetto non sia nero, abbia un'emittanza pari a 0,75 e una trasmittanza di 0,92. Si supponga inoltre che la somma dei due secondi termini dell'Equazione 4 dia 0,5 volt. Calcolando  $U_{\text{obj}}$  tramite l'Equazione 4 si ottiene come risultato  $U_{\text{obj}} = 4,5 / 0,75 / 0,92 - 0,5 = 6,0$ . Questa è un'estrapolazione piuttosto estrema, in particolare se si considera che l'amplificatore video può limitare il segnale di uscita a 5 volt! Si noti tuttavia che l'applicazione della curva di taratura è una procedura teorica che non prevede alcun limite elettronico o di altra natura. Se non fossero stati imposti limiti di segnale nella termocamera e se questa fosse stata calibrata su un valore superiore a 5 volt, la curva risultante sarebbe stata molto simile alla curva effettiva estrapolata oltre i 4,1 volt, a condizione che l'algoritmo di calibrazione fosse basato sulla fisica delle radiazioni, come l'algoritmo FLIR Systems. Naturalmente, deve esistere un limite per questo tipo di estrapolazioni.

10400603.a2



**Figura 22.3** Grandezze relative delle sorgenti di radiazione in varie condizioni di misurazione (termocamera SW). **1:** Temperatura dell'oggetto; **2:** Emissanza; **Obj:** Radiazione dell'oggetto; **Refl:** Radiazione riflessa; **Atm:** radiazione dell'atmosfera. Parametri fissi:  $\tau = 0,88$ ;  $T_{\text{refl}} = 20^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{atm}} = 20^\circ\text{C}$ .

10400703.a2



**Figura 22.4** Grandezze relative delle sorgenti di radiazione in varie condizioni di misurazione (termocamera LW). **1**: Temperatura dell'oggetto; **2**: Emissanza; **Obj**: Radiazione dell'oggetto; **Refl**: Radiazione riflessa; **Atm**: radiazione dell'atmosfera. Parametri fissi:  $\tau = 0,88$ ;  $T_{refl} = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $T_{atm} = 20^{\circ}\text{C}$ .

## 23 Tabelle di emissività

In questa sezione sono raccolti dati di emissività provenienti da studi sui raggi infrarossi e dalle misurazioni eseguite da FLIR Systems.

### 23.1 Bibliografia

1	Mikaél A. Bramson: <i>Infrared Radiation, A Handbook for Applications</i> , Plenum press, NY.
2	William L. Wolfe, George J. Zissis: <i>The Infrared Handbook</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
3	Madding, R. P.: <i>Thermographic Instruments and systems</i> . Madison, Wisconsin: University of Wisconsin - Extension, Department of Engineering and Applied Science.
4	William L. Wolfe: <i>Handbook of Military Infrared Technology</i> , Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C.
5	Jones, Smith, Probert: <i>External thermography of buildings...</i> , Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London.
6	Paljak, Pettersson: <i>Thermography of Buildings</i> , Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972.
7	Vlcek, J.: <i>Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at <math>\lambda = 5 \mu\text{m}</math></i> . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
8	Kern: <i>Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites</i> , Defence Documentation Center, AD 617 417.
9	Öhman, Claes: <i>Emittansmätningar med AGEMA E-Box</i> . Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.)

23

### 23.2 Nota importante sulle tabelle di emissività

I valori dell'emissività riportati nella tabella seguente sono stati registrati utilizzando una termocamera a onde corte. Devono pertanto essere considerati come non vincolanti e utilizzati con cautela.

### 23.3 Tabelle

**Figura 23.1 T:** Spettro totale; **SW:** 2-5  $\mu\text{m}$ ; **LW:** 8-14  $\mu\text{m}$ , **LLW:** 6,5-20  $\mu\text{m}$ ; **1:** Materiale; **2:** Specifiche; **3:** Temperatura in °C; **4:** Spettro; **5:** Emissività; **6:** Riferimento

1	2	3	4	5	6
Acciaio inossidabile	foglio, lucidato	70	LW	0,14	9

1	2	3	4	5	6
Acciaio inossidabile	foglio, lucidato	70	SW	0,18	9
Acciaio inossidabile	foglio, non trattato, parzialmente graffiato	70	LW	0,28	9
Acciaio inossidabile	foglio, non trattato, parzialmente graffiato	70	SW	0,30	9
Acciaio inossidabile	laminato	700	T	0,45	1
Acciaio inossidabile	lega, 8% Ni, 18% Cr	500	T	0,35	1
Acciaio inossidabile	sabbiato	700	T	0,70	1
Acciaio inossidabile	tipo 18-8, lucidato	20	T	0,16	2
Acciaio inossidabile	tipo 18-8, ossidato a 800°C	60	T	0,85	2
Acqua	crystalli di ghiaccio	-10	T	0,98	2
Acqua	distillata	20	T	0,96	2
Acqua	ghiaccio, con spesso strato di brina	0	T	0,98	1
Acqua	ghiaccio, liscio	-10	T	0,96	2
Acqua	ghiaccio, liscio	0	T	0,97	1
Acqua	neve		T	0,8	1
Acqua	neve	-10	T	0,85	2
Acqua	strato, spessore >0,1 mm	0-100	T	0,95-0,98	1
Alluminio	anodizzato, grigio chiaro, opaco	70	LW	0,97	9
Alluminio	anodizzato, grigio chiaro, opaco	70	SW	0,61	9
Alluminio	anodizzato, nero, opaco	70	LW	0,95	9

1	2	3	4	5	6
Alluminio	anodizzato, nero, opaco	70	SW	0,67	9
Alluminio	bagnato in HNO <sub>3</sub> , lastra	100	T	0,05	4
Alluminio	come ricevuto, foglio	100	T	0,09	2
Alluminio	come ricevuto, lastra	100	T	0,09	4
Alluminio	deposto sotto vuoto	20	T	0,04	2
Alluminio	foglio, 4 campioni con graffiature differenti	70	LW	0,03-0,06	9
Alluminio	foglio, 4 campioni con graffiature differenti	70	SW	0,05-0,08	9
Alluminio	foglio anodizzato	100	T	0,55	2
Alluminio	fortemente alterato da agenti atmosferici	17	SW	0,83-0,94	5
Alluminio	fortemente ossidato	50–500	T	0,2-0,3	1
Alluminio	fuso, sabbiato	70	LW	0,46	9
Alluminio	fuso, sabbiato	70	SW	0,47	9
Alluminio	irruvidito	27	3 $\mu\text{m}$	0,28	3
Alluminio	irruvidito	27	10 $\mu\text{m}$	0,18	3
Alluminio	lastra lucidata	100	T	0,05	4
Alluminio	lucidato	50–100	T	0,04-0,06	1
Alluminio	lucidato, foglio	100	T	0,05	2
Alluminio	pellicola	27	3 $\mu\text{m}$	0,09	3
Alluminio	pellicola	27	10 $\mu\text{m}$	0,04	3
Alluminio	superficie ruvida	20–50	T	0,06-0,07	1
Amianto	carta	40–400	T	0,93-0,95	1
Amianto	cartone	20	T	0,96	1

1	2	3	4	5	6
Amianto	lastra	20	T	0,96	1
Amianto	piastrella	35	SW	0,94	7
Amianto	polvere		T	0,40-0,60	1
Amianto	tessuto		T	0,78	1
Arenaria	lucidato	19	LLW	0,909	8
Arenaria	ruvido	19	LLW	0,935	8
Argento	lucidato	100	T	0,03	2
Argento	puro, lucidato	200–600	T	0,02-0,03	1
Argilla	refrattaria	70	T	0,91	1
Biossido di rame	polvere		T	0,84	1
Bronzo	bronzo al fosforo	70	LW	0,06	9
Bronzo	bronzo al fosforo	70	SW	0,08	9
Bronzo	lucidato	50	T	0,1	1
Bronzo	polvere		T	0,76-0,80	1
Bronzo	poroso, ruvido	50–150	T	0,55	1
Calce			T	0,3-0,4	1
Calcestruzzo		20	T	0,92	2
Calcestruzzo	asciutto	36	SW	0,95	7
Calcestruzzo	marciapiede	5	LLW	0,974	8
Calcestruzzo	ruvido	17	SW	0,97	5
Carbonio	fuliggine	20	T	0,95	2
Carbonio	grafite, superficie limata	20	T	0,98	2
Carbonio	nerofumo	20–400	T	0,95-0,97	1
Carbonio	polvere di carbone		T	0,96	1
Carbonio	polvere di grafite		T	0,97	1
Carta	4 colori diversi	70	LW	0,92-0,94	9
Carta	4 colori diversi	70	SW	0,68-0,74	9
Carta	adesiva bianca	20	T	0,93	2

1	2	3	4	5	6
Carta	bianca	20	T	0,7-0,9	1
Carta	bianca, 3 brillantezze diverse	70	LW	0,88-0,90	9
Carta	bianca, 3 brillantezze diverse	70	SW	0,76-0,78	9
Carta	blu scura		T	0,84	1
Carta	gialla		T	0,72	1
Carta	nera, opaca		T	0,94	1
Carta	nera, opaca	70	LW	0,89	9
Carta	nera, opaca	70	SW	0,86	9
Carta	nero		T	0,90	1
Carta	patinata con lacca nera		T	0,93	1
Carta	rossa		T	0,76	1
Carta	verde		T	0,85	1
Carta da parati	motivo leggero, grigio chiaro	20	SW	0,85	6
Carta da parati	motivo leggero, rosso	20	SW	0,90	6
Catrame			T	0,79-0,84	1
Catrame	carta	20	T	0,91-0,93	1
Cromo	lucidato	50	T	0,10	1
Cromo	lucidato	500-1000	T	0,28-0,38	1
Cuoio	tinto		T	0,75-0,80	1
Cupralluminio		20	T	0,60	1
Ebanite			T	0,89	1
Ferro, ghisa	fusione	50	T	0,81	1
Ferro, ghisa	lavorato	800-1000	T	0,60-0,70	1
Ferro, ghisa	lingotti	1000	T	0,95	1
Ferro, ghisa	liquido	1300	T	0,28	1
Ferro, ghisa	lucidato	38	T	0,21	4

1	2	3	4	5	6
Ferro, ghisa	lucidato	40	T	0,21	2
Ferro, ghisa	lucidato	200	T	0,21	1
Ferro, ghisa	non lavorato	900–1100	T	0,87-0,95	1
Ferro, ghisa	ossidato	38	T	0,63	4
Ferro, ghisa	ossidato	100	T	0,64	2
Ferro, ghisa	ossidato	260	T	0,66	4
Ferro, ghisa	ossidato	538	T	0,76	4
Ferro, ghisa	ossidato a 600°C	200–600	T	0,64-0,78	1
Ferro e acciaio	arrugginito, rosso	20	T	0,69	1
Ferro e acciaio	battuto, lucidato accuratamente	40–250	T	0,28	1
Ferro e acciaio	brillante, inciso	150	T	0,16	1
Ferro e acciaio	coperto da ruggine rossa	20	T	0,61-0,85	1
Ferro e acciaio	elettrolitico	22	T	0,05	4
Ferro e acciaio	elettrolitico	100	T	0,05	4
Ferro e acciaio	elettrolitico	260	T	0,07	4
Ferro e acciaio	elettrolitico, accuratamente lucidato	175–225	T	0,05-0,06	1
Ferro e acciaio	foglio fortemente arrugginito	20	T	0,69	2
Ferro e acciaio	foglio laminato	50	T	0,56	1
Ferro e acciaio	foglio lucidato	750–1050	T	0,52-0,56	1
Ferro e acciaio	foglio smerigliato	950–1100	T	0,55-0,61	1
Ferro e acciaio	fortemente arrugginito	17	SW	0,96	5
Ferro e acciaio	fortemente ossidato	50	T	0,88	1
Ferro e acciaio	fortemente ossidato	500	T	0,98	1
Ferro e acciaio	laminato a caldo	20	T	0,77	1

1	2	3	4	5	6
Ferro e acciaio	laminato a caldo	130	T	0,60	1
Ferro e acciaio	laminato a freddo	70	LW	0,09	9
Ferro e acciaio	laminato a freddo	70	SW	0,20	9
Ferro e acciaio	laminato di recente	20	T	0,24	1
Ferro e acciaio	lucidato	100	T	0,07	2
Ferro e acciaio	lucidato	400–1000	T	0,14-0,38	1
Ferro e acciaio	ossidato	100	T	0,74	1
Ferro e acciaio	ossidato	100	T	0,74	4
Ferro e acciaio	ossidato	125–525	T	0,78-0,82	1
Ferro e acciaio	ossidato	200	T	0,79	2
Ferro e acciaio	ossidato	200–600	T	0,80	1
Ferro e acciaio	ossidato	1227	T	0,89	4
Ferro e acciaio	ruggine rossa, foglio	22	T	0,69	4
Ferro e acciaio	ruvido, superficie piana	50	T	0,95-0,98	1
Ferro e acciaio	smerigliato di recente	20	T	0,24	1
Ferro e acciaio	strato di ossido brillante, foglio	20	T	0,82	1
Ferro galvanizzato	foglio	92	T	0,07	4
Ferro galvanizzato	foglio, brunito	30	T	0,23	1
Ferro galvanizzato	foglio, ossidato	20	T	0,28	1
Ferro galvanizzato	fortemente ossidato	70	LW	0,85	9
Ferro galvanizzato	fortemente ossidato	70	SW	0,64	9
Ferro stagnato	foglio	24	T	0,064	4
Gesso		17	SW	0,86	5
Gesso	pannello in cartongesso, non trattato	20	SW	0,90	6

1	2	3	4	5	6
Gesso	prima mano di intonaco	20	T	0,91	2
Gesso idrato		20	T	0,8-0,9	1
Ghiaccio: vedere Acqua					
Gomma	dura	20	T	0,95	1
Gomma	morbida, grigia, ruvida	20	T	0,95	1
Granito	lucidato	20	LLW	0,849	8
Granito	rugoso, 4 campioni differenti	70	LW	0,77-0,87	9
Granito	rugoso, 4 campioni differenti	70	SW	0,95-0,97	9
Granito	ruvido	21	LLW	0,879	8
Iossido di alluminio	polvere		T	0,28	1
Laccatura	3 colori, spruzzata su alluminio	70	LW	0,92-0,94	9
Laccatura	3 colori, spruzzata su alluminio	70	SW	0,50-0,53	9
Laccatura	alluminio su superficie ruvida	20	T	0,4	1
Laccatura	bachelite	80	T	0,83	1
Laccatura	bianca	40–100	T	0,8-0,95	1
Laccatura	bianca	100	T	0,92	2
Laccatura	nera, brillante, spruzzata su ferro	20	T	0,87	1
Laccatura	nera, opaca	40–100	T	0,96-0,98	1
Laccatura	nera, opaca	100	T	0,97	2
Laccatura	resistente al calore	100	T	0,92	1
Legno		17	SW	0,98	5
Legno		19	LLW	0,962	8
Legno	bianco, umido	20	T	0,7-0,8	1

1	2	3	4	5	6
Legno	compensato, liscio, asciutto	36	SW	0,82	7
Legno	compensato, non trattato	20	SW	0,83	6
Legno	pasta		T	0,5-0,7	1
Legno	piallato	20	T	0,8-0,9	1
Legno	pino, 4 campioni differenti	70	LW	0,81-0,89	9
Legno	pino, 4 campioni differenti	70	SW	0,67-0,75	9
Legno	quercia piallata	20	T	0,90	2
Legno	quercia piallata	70	LW	0,88	9
Legno	quercia piallata	70	SW	0,77	9
Magnesio		22	T	0,07	4
Magnesio		260	T	0,13	4
Magnesio		538	T	0,18	4
Magnesio	lucidato	20	T	0,07	2
Malta		17	SW	0,87	5
Malta	asciutto	36	SW	0,94	7
Mattone	allumina	17	SW	0,68	5
Mattone	argilla refrattaria	20	T	0,85	1
Mattone	argilla refrattaria	1000	T	0,75	1
Mattone	argilla refrattaria	1200	T	0,59	1
Mattone	comune	17	SW	0,86-0,81	5
Mattone	impermeabile	17	SW	0,87	5
Mattone	mattone refrattario	17	SW	0,68	5
Mattone	muratura	35	SW	0,94	7
Mattone	muratura, intonacato	20	T	0,94	1
Mattone	refrattario, corindone	1000	T	0,46	1

1	2	3	4	5	6
Mattone	refrattario, fortemente radiante	500–1000	T	0,8-0,9	1
Mattone	refrattario, magnesite	1000–1300	T	0,38	1
Mattone	refrattario, scarsamente radiante	500–1000	T	0,65-0,75	1
Mattone	rosso, comune	20	T	0,93	2
Mattone	rosso, ruvido	20	T	0,88-0,93	1
Mattone	silice, 95% SiO <sub>2</sub>	1230	T	0,66	1
Mattone	silice dinas, lucidato, ruvido	1100	T	0,85	1
Mattone	silice dinas, non lucidato, ruvido	1000	T	0,80	1
Mattone	silice dinas, refrattario	1000	T	0,66	1
Mattone	sillimanite, 33% SiO <sub>2</sub> , 64% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1500	T	0,29	1
Molibdeno		600–1000	T	0,08-0,13	1
Molibdeno		1500–2200	T	0,19-0,26	1
Molibdeno	filamento	700–2500	T	0,1-0,3	1
Neve: vedere Acqua					
Nichel	brillante opaco	122	T	0,041	4
Nichel	commercialmente puro, lucidato	100	T	0,045	1
Nichel	commercialmente puro, lucidato	200–400	T	0,07-0,09	1
Nichel	elettrolitico	22	T	0,04	4
Nichel	elettrolitico	38	T	0,06	4
Nichel	elettrolitico	260	T	0,07	4
Nichel	elettrolitico	538	T	0,10	4
Nichel	elettroplaccato, lucidato	20	T	0,05	2

1	2	3	4	5	6
Nichel	elettroplaccato su ferro, lucidato	22	T	0,045	4
Nichel	elettroplaccato su ferro, non lucidato	20	T	0,11-0,40	1
Nichel	elettroplaccato su ferro, non lucidato	22	T	0,11	4
Nichel	filo	200–1000	T	0,1-0,2	1
Nichel	lucidato	122	T	0,045	4
Nichel	ossidato	200	T	0,37	2
Nichel	ossidato	227	T	0,37	4
Nichel	ossidato	1227	T	0,85	4
Nichel	ossidato a 600°C	200–600	T	0,37-0,48	1
Nichel-cromo	filo, ossidato	50–500	T	0,95-0,98	1
Nichel-cromo	filo, pulito	50	T	0,65	1
Nichel-cromo	filo, pulito	500–1000	T	0,71-0,79	1
Nichel-cromo	laminato	700	T	0,25	1
Nichel-cromo	sabbiato	700	T	0,70	1
Olio, lubrificante	film da 0,025 mm	20	T	0,27	2
Olio, lubrificante	film da 0,050 mm	20	T	0,46	2
Olio, lubrificante	film da 0,125 mm	20	T	0,72	2
Olio, lubrificante	film su base Ni: solo base Ni	20	T	0,05	2
Olio, lubrificante	rivestimento spesso	20	T	0,82	2
Oro	fortemente lucidato	100	T	0,02	2
Oro	lucidato	130	T	0,018	1
Oro	lucidato accuratamente	200–600	T	0,02-0,03	1
Ossido di alluminio	attivato, polvere		T	0,46	1

1	2	3	4	5	6
Ossido di alluminio	puro, polvere (allumina)		T	0,16	1
Ossido di nichel		500–650	T	0,52-0,59	1
Ossido di nichel		1000–1250	T	0,75-0,86	1
Ossido di rame	rosso, polvere		T	0,70	1
Ottone	foglio, laminato	20	T	0,06	1
Ottone	foglio, smerigliato	20	T	0,2	1
Ottone	fortemente lucidato	100	T	0,03	2
Ottone	lucidato	200	T	0,03	1
Ottone	opaco, ossidato	20–350	T	0,22	1
Ottone	ossidato	70	SW	0,04-0,09	9
Ottone	ossidato	70	LW	0,03-0,07	9
Ottone	ossidato	100	T	0,61	2
Ottone	ossidato a 600°C	200–600	T	0,59-0,61	1
Ottone	smerigliato utilizzando carta vetrata con graniglia 80	20	T	0,20	2
Pannello di fibra	masonite	70	LW	0,88	9
Pannello di fibra	masonite	70	SW	0,75	9
Pannello di fibra	pannello di truciolato	70	LW	0,89	9
Pannello di fibra	pannello di truciolato	70	SW	0,77	9
Pannello di fibra	poroso, non trattato	20	SW	0,85	6
Pannello di fibra	rigido, non trattato	20	SW	0,85	6
Panno	nero	20	T	0,98	1
Pavimentazione di asfalto		4	LLW	0,967	8
Pelle	umana	32	T	0,98	2
Piastrella	vetrificata	17	SW	0,94	5

1	2	3	4	5	6
Piombo	brillante	250	T	0,08	1
Piombo	non ossidato, lucidato	100	T	0,05	4
Piombo	ossidato, grigio	20	T	0,28	1
Piombo	ossidato, grigio	22	T	0,28	4
Piombo	ossidato a 200°C	200	T	0,63	1
Piombo rosso		100	T	0,93	4
Piombo rosso, polvere		100	T	0,93	1
Plastica	laminato in fibra di vetro (scheda per circuito stampato)	70	LW	0,91	9
Plastica	laminato in fibra di vetro (scheda per circuito stampato)	70	SW	0,94	9
Plastica	pannello isolante in poliuretano	70	LW	0,55	9
Plastica	pannello isolante in poliuretano	70	SW	0,29	9
Plastica	PVC, pavimento in plastica, opaco, strutturato	70	LW	0,93	9
Plastica	PVC, pavimento in plastica, opaco, strutturato	70	SW	0,94	9
Platino		17	T	0,016	4
Platino		22	T	0,03	4
Platino		100	T	0,05	4
Platino		260	T	0,06	4
Platino		538	T	0,10	4
Platino		1000–1500	T	0,14-0,18	1
Platino		1094	T	0,18	4
Platino	filo	50–200	T	0,06-0,07	1
Platino	filo	500–1000	T	0,10-0,16	1

1	2	3	4	5	6
Platino	filo	1400	T	0,18	1
Platino	nastro	900–1100	T	0,12-0,17	1
Platino	puro, lucidato	200–600	T	0,05-0,10	1
Polistirolo	isolante	37	SW	0,60	7
Polvere di magnesio			T	0,86	1
Porcellana	bianca, brillante		T	0,70-0,75	1
Porcellana	vetrificata	20	T	0,92	1
Rame	commerciale, brunito	20	T	0,07	1
Rame	elettrolitico, accuratamente lucidato	80	T	0,018	1
Rame	elettrolitico, lucidato	-34	T	0,006	4
Rame	fortemente ossidato	20	T	0,78	2
Rame	fuso	1100–1300	T	0,13-0,15	1
Rame	lucidato	50–100	T	0,02	1
Rame	lucidato	100	T	0,03	2
Rame	lucidato, commerciale	27	T	0,03	4
Rame	lucidato, meccanico	22	T	0,015	4
Rame	ossidato	50	T	0,6-0,7	1
Rame	ossidato, nero	27	T	0,78	4
Rame	ossidato fino all'annerimento		T	0,88	1
Rame	puro, superficie accuratamente preparata	22	T	0,008	4
Rame	raschiato	27	T	0,07	4
Sabbia			T	0,60	1
Sabbia		20	T	0,90	2

1	2	3	4	5	6
Scorie	caldaia	0–100	T	0,97-0,93	1
Scorie	caldaia	200–500	T	0,89-0,78	1
Scorie	caldaia	600–1200	T	0,76-0,70	1
Scorie	caldaia	1400–1800	T	0,69-0,67	1
Smalto		20	T	0,9	1
Smalto	lacca	20	T	0,85-0,95	1
Smeriglio	grezzo	80	T	0,85	1
Stagno	brunito	20–50	T	0,04-0,06	1
Stagno	foglio di ferro stagnato	100	T	0,07	2
Stucco	ruvido, calce	10–90	T	0,91	1
Terreno	asciutto	20	T	0,92	2
Terreno	saturo di acqua	20	T	0,95	2
Titanio	lucidato	200	T	0,15	1
Titanio	lucidato	500	T	0,20	1
Titanio	lucidato	1000	T	0,36	1
Titanio	ossidato a 540°C	200	T	0,40	1
Titanio	ossidato a 540°C	500	T	0,50	1
Titanio	ossidato a 540°C	1000	T	0,60	1
Truciolato	non trattato	20	SW	0,90	6
Tungsteno		200	T	0,05	1
Tungsteno		600–1000	T	0,1-0,16	1
Tungsteno		1500–2200	T	0,24-0,31	1
Tungsteno	filamento	3300	T	0,39	1
Vernice	8 diversi tipi e colori	70	LW	0,92-0,94	9
Vernice	8 diversi tipi e colori	70	SW	0,88-0,96	9
Vernice	alluminio, vari stati di invecchiamento	50–100	T	0,27-0,67	1

1	2	3	4	5	6
Vernice	base olio, media di 16 colori	100	T	0,94	2
Vernice	blu cobalto		T	0,7-0,8	1
Vernice	giallo cadmio		T	0,28-0,33	1
Vernice	olio	17	SW	0,87	5
Vernice	olio, diversi colori	100	T	0,92-0,96	1
Vernice	olio, grigia, lucida	20	SW	0,96	6
Vernice	olio, grigia, opaca	20	SW	0,97	6
Vernice	olio, nero lucido	20	SW	0,92	6
Vernice	olio, nero opaco	20	SW	0,94	6
Vernice	plastica, bianco	20	SW	0,84	6
Vernice	plastica, nero	20	SW	0,95	6
Vernice	verde cromo		T	0,65-0,70	1
Vernice trasparente	opaca	20	SW	0,93	6
Vernice trasparente	su parquet in quercia	70	LW	0,90-0,93	9
Vernice trasparente	su parquet in quercia	70	SW	0,90	9
Zinco	foglio	50	T	0,20	1
Zinco	lucidato	200-300	T	0,04-0,05	1
Zinco	ossidato a 400°C	400	T	0,11	1
Zinco	superficie ossidata	1000-1200	T	0,50-0,60	1

PAGINA INTENZIONALMENTE VUOTA

23

---

**A note on the technical production of this manual**

This manual was produced using XML—the *eXtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit <http://www.w3.org/XML/>

**A note on the typeface used in this manual**

This manual was typeset using Swiss 721, which is Bitstream's pan-European version of the Helvetica™ typeface. Helvetica™ was designed by Max Miedinger (1910–1980).

**The following file identities and file versions were used in the formatting stream output for this manual:**

20235108.xml b17  
20235208.xml b11  
20235308.xml b11  
20236708.xml b19  
20237108.xml b12  
20238508.xml a8  
20238708.xml a7  
20250408.xml a13  
20254903.xml a49  
20257008.xml a17  
20257108.xml a6  
20257308.xml a8  
20273208.xml a9  
20275208.xml a10  
20279808.xml a4  
20281008.xml a3  
20287308.xml a2  
20287708.xml a2  
20287808.xml a2  
20287908.xml a1  
20288008.xml a1  
20288108.xml a2  
20288208.xml a2  
20288308.xml a1  
20288408.xml a3  
20288508.xml a2  
R114.rcp a4  
config.xml a5



**■ AUSTRALIA**

FLIR Systems  
10 Business Park Drive  
Nottinghill  
Victoria 3168  
Australia  
Tel: +61-3-9550-2800  
Fax: +61-3-9558-9853  
Email: info@flir.com.au  
Web: www.flirthermography.com

**■ BELGIUM**

FLIR Systems  
Uitbreidingstraat 60-62  
B-2600 Berchem  
BELGIUM  
Phone: +32 (0)3 287 87 11  
Fax: +32 (0)3 287 87 29  
E-mail: info@flir.be  
Web: www.flirthermography.com

**■ BRAZIL**

FLIR Systems  
Av. Antonio Bardella, 320  
CEP: 18085-852 Sorocaba  
São Paulo  
BRAZIL  
Phone: +55 15 3238 8070  
Fax: +55 15 3238 8071  
E-mail: paul.verminnen@flir.com.br  
E-mail: flir@flir.com.br  
Web: www.flirthermography.com

**■ CANADA**

FLIR Systems  
5230 South Service Road, Suite #125  
Burlington, ON. L7L 5K2  
CANADA  
Phone: 1 800 613 0507 ext. 30  
Fax: 905 639 5488  
E-mail: IRCanada@flir.com  
Web: www.flirthermography.com

**■ CHINA**

FLIR Systems  
Beijing Representative Office  
Rm 203A, Dongwai Diplomatic Office  
Building  
23 Dongzhimenwai Dajie  
Beijing 100600  
P.R.C.  
Phone: +86 10 8532 2304  
Fax: +86 10 8532 2460  
E-mail: beijing@flir.com.cn  
Web: www.flirthermography.com

**■ CHINA**

FLIR Systems  
Shanghai Representative Office  
Room 6311, West Building  
Jin Jiang Hotel  
59 Maoming Road (South)  
Shanghai 200020  
P.R.C.  
Phone: +86 21 5466 0286  
Fax: +86 21 5466 0289  
E-mail: shanghai@flir.com.cn  
Web: www.flirthermography.com

**■ CHINA**

FLIR Systems  
Guangzhou Representative Office  
1105 Main Tower, Guang Dong  
International Hotel  
339 Huanshi Dong Road  
Guangzhou 510098  
P.R.C.  
Phone: +86 20 8333 7492  
Fax: +86 20 8331 0976  
E-mail: guangzhou@flir.com.cn  
Web: www.flirthermography.com

**■ FRANCE**

FLIR Systems  
10 rue Guynemer  
92130 Issy les Moulineaux  
Cedex  
FRANCE  
Phone: +33 (0)1 41 33 97 97  
Fax: +33 (0)1 47 36 18 32  
E-mail: info@flir.fr  
Web: www.flirthermography.com

**■ GERMANY**

FLIR Systems  
Bernier Strasse 81  
D-60437 Frankfurt am Main  
GERMANY  
Phone: +49 (0)69 95 00 900  
Fax: +49 (0)69 95 00 9040  
E-mail: info@flir.de  
Web: www.flirthermography.com

**■ GREAT BRITAIN**

FLIR Systems  
2 Kings Hill Avenue – Kings Hill  
West Malling  
Kent, ME19 4AQ  
UNITED KINGDOM  
Phone: +44 (0)1732 220 011  
Fax: +44 (0)1732 843 707  
E-mail: sales@flir.uk.com  
Web: www.flirthermography.com

**■ HONG KONG**

FLIR Systems  
Room 1613-15, Tower 2  
Grand Central Plaza  
138 Shatin Rural Committee Rd  
Shatin, N.T.  
HONG KONG  
Phone: +852 27 92 89 55  
Fax: +852 27 92 89 52  
E-mail: flir@flir.com.hk  
Web: www.flirthermography.com

**■ ITALY**

FLIR Systems  
Via L. Manara, 2  
20051 Limbiate (MI)  
ITALY  
Phone: +39 02 99 45 10 11  
Fax: +39 02 99 69 24 08  
E-mail: info@flir.it  
Web: www.flirthermography.com

**■ JAPAN**

FLIR SYSTEMS Japan KK  
Nishi-Gotanda Access 8F  
3-6-20 Nishi-Gotanda  
Shinagawa-Ku  
Tokyo 141-0031  
JAPAN  
Phone: +81 3 6277 5681  
Fax: +81 3 6277 5682  
E-mail: info@flir.jp  
Web: www.flirthermography.com

**■ SWEDEN**

FLIR Systems  
Worldwide Thermography Center  
P.O. Box 3  
SE-182 11 Danderyd  
SWEDEN  
Phone: +46 (0)8 753 25 00  
Fax: +46 (0)8 753 23 64  
E-mail: sales@flir.se  
Web: www.flirthermography.com

**■ USA**

FLIR Systems  
Corporate headquarters  
27700A SW Parkway Avenue  
Wilsonville, OR 97070  
USA  
Phone: +1 503 498 3547  
Web: www.flirthermography.com

**■ USA (Primary sales & service contact in USA)**

FLIR Systems  
USA Thermography Center  
16 Esquire Road  
North Billerica, MA. 01862  
USA  
Phone: +1 978 901 8000  
Fax: +1 978 901 8887  
E-mail: marketing@flir.com  
Web: www.flirthermography.com

**■ USA**

FLIR Systems  
Indigo Operations  
70 Castilian Dr.  
Goleta, CA 93117-3027  
USA  
Phone: +1 805 964 9797  
Fax: +1 805 685 2711  
E-mail: sales@indigosystems.com  
Web: www.corebyindigo.com

**■ USA**

FLIR Systems  
Indigo Operations  
IAS Facility  
701 John Sims Parkway East  
Suite 2B  
Niceville, FL 32578  
USA  
Phone: +1 850 678 4503  
Fax: +1 850 678 4992  
E-mail: sales@indigosystems.com  
Web: www.corebyindigo.com