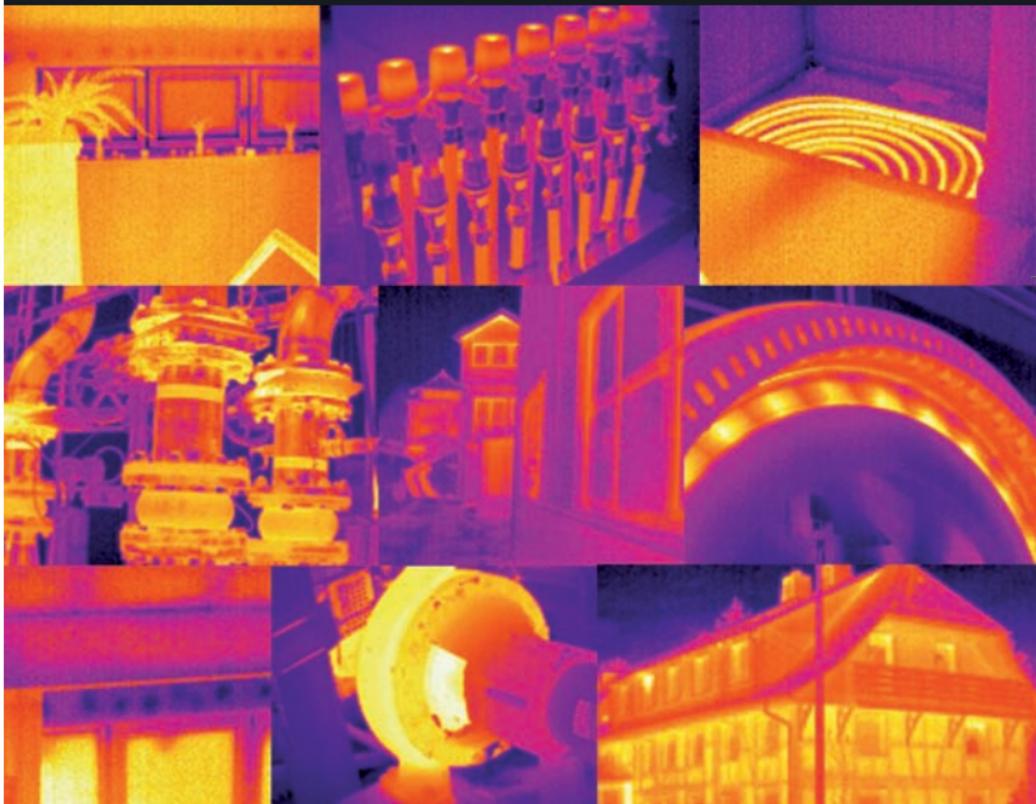


# Guida tascabile sulla termografia



**Teoria – Applicazione pratica – Trucchi & suggerimenti**



## **Copyright, garanzia e responsabilità**

Le informazioni raccolte in questa Guida tascabile sono protette da copyright. Tutti i diritti sono di proprietà esclusiva di Testo AG. I contenuti e le immagini non possono essere riprodotti commercialmente, modificati o utilizzati per scopi diversi da quello definito dall'utente senza la previa autorizzazione scritta di Testo AG.

Le informazioni in questa Guida tascabile sono state prodotte con estrema cura. Cionondimeno, le informazioni fornite non sono vincolanti e Testo AG si riserva il diritto di apportare modifiche o aggiunte. Testo AG non offre pertanto nessuna garanzia in merito alla correttezza e completezza delle informazioni fornite. La responsabilità, qualunque sia la sua causa giuridica, è limitata ai danni causati da Testo AG o dai suoi agenti delegati o appaltatori per dolo, grave negligenza o, in caso di violazione degli obblighi contrattuali materiali, negligenza minore. Nei casi di negligenza minore, l'estensione della responsabilità di Testo AG è limitata ai danni tipici e prevedibili per transazioni comparabili di questa natura. Questo non riguarda i diritti di compensazione derivanti da garanzie o in conformità con la Legge sulla responsabilità per danno da prodotto.

*Testo AG, settembre 2008*

## Prefazione

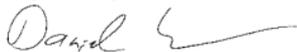
Gentile cliente Testo,

*“Le immagini dicono più di mille parole”*

Oggi giorno, con i crescenti prezzi dell'energia e gli elevati costi per i tempi di fermo-macchina, la misura della temperatura senza contatto si è affermata per la valutazione dell'efficienza degli edifici nonché per la manutenzione industriale. Tuttavia, la termografia non è semplice come sembra: vi sono alcune regole elementari di base che bisogna seguire nella misura della temperatura senza contatto.

Il manuale “Guida tascabile sulla termografia” è stato creato sintetizzando le domande poste ogni giorno dai nostri clienti. Disseminata di molte informazioni interessanti, oltre a trucchi e suggerimenti per le applicazioni pratiche di misura, questa Guida tascabile è studiata per offrirvi un aiuto pratico e per sostenervi nel lavoro di tutti i giorni.

Buona lettura!



*Daniel Auer,*  
Manager Strumenti di misura a infrarossi

## Indice

1. Teoria della termografia	5
1.1 Emissione, riflessione, trasmissione	6
1.2 Punto di misura e distanza di misura	13
2. La termografia in pratica	16
2.1 Oggetto di misura e ambiente di misura	16
2.2 Determinare $\epsilon$ e RTC nelle applicazioni pratiche	25
2.3 Fonti di errore nella misura degli infrarossi	28
2.4 Le condizioni ottimali per la misura degli infrarossi	34
2.5 L'immagine termica perfetta	35
3. Appendice	38
3.1 Glossario della termografia	38
3.2 Tabella dell'emissività	50
3.3 Testo raccomanda	52

# 1 Teoria della termografia

Ogni oggetto con una temperatura sopra lo zero assoluto (0 Kelvin =  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emette raggi infrarossi. Questi raggi infrarossi sono invisibili all'occhio umano.

Come ha dimostrato il fisico Max Planck nel lontano 1900, esiste una correlazione tra la temperatura di un corpo e l'intensità dei raggi infrarossi che emette.

Una termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga ricevuti nel suo campo visivo. In base a questi, calcola la temperatura dell'oggetto da misurare. Il calcolo tiene conto dell'emissività ( $\epsilon$ ) della superficie dell'oggetto di misura e della compensazione della temperatura riflessa (RTC = reflected temperature compensation), entrambe variabili che possono essere impostate manualmente nella termocamera.

Ogni pixel del rilevatore rappresenta un punto termico che viene mostrato sul display come un'immagine in falsi colori (cfr. "Area di misura e distanza di misura", p. 13).

La termografia (misura della temperatura con una termocamera) è un metodo di misura passivo, senza contatto. L'immagine termica mostra la distribuzione della temperatura sulla superficie di un oggetto. Per questa ragione, con una termocamera non è possibile vedere dentro o addirittura attraverso gli oggetti.

## 1.1 Emissione, riflessione, trasmissione

La radiazione registrata dalla termocamera è composta da raggi a onda lunga emessi, riflessi e trasmessi, provenienti dagli oggetti all'interno del campo visivo della termocamera.

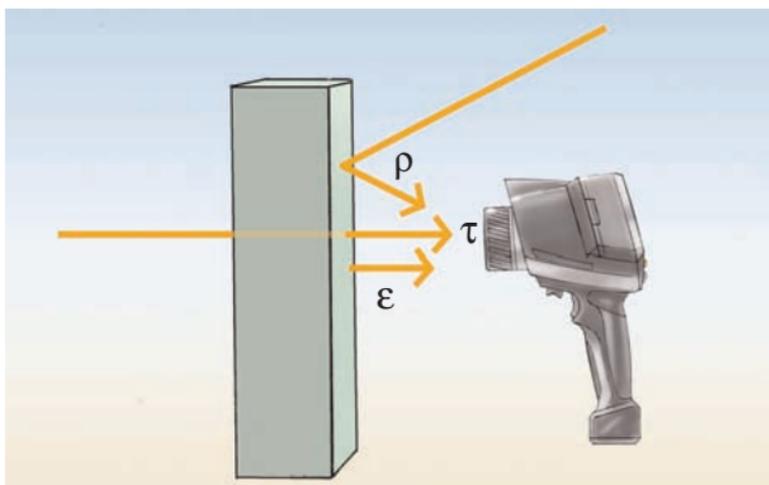


Figura 1.1: Emissione, riflessione e trasmissione

### Emissività ( $\epsilon$ )

L'emissività ( $\epsilon$ ) è un indicatore della capacità di un materiale di emettere (emanare) raggi infrarossi.

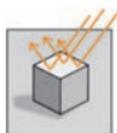
- $\epsilon$  varia in base alle proprietà superficiali, al materiale e, per alcuni materiali, anche in base alla temperatura dell'oggetto di misura.
- Emissività massima:  $\epsilon = 1$  ( $\cong 100\%$ ) (cfr. "corpi neri", p. 38).

$\epsilon = 1$  non si verifica mai nella realtà.

- Corpi reali:  $\epsilon < 1$ , perché i corpi reali non solo emettono, ma anche riflettono ed eventualmente trasmettono le radiazioni.
- Molti materiali non metallici (es. PVC, cemento, sostanze organiche) hanno un'emissività elevata nella gamma di infrarossi a onda lunga che non dipende dalla temperatura ( $\epsilon \approx$  da 0,8 a 0,95).
- I metalli, in particolare quelli con una superficie lucida, hanno una bassa emissività che varia con il variare della temperatura.
- $\epsilon$  può essere impostata manualmente nella termocamera.

### Fattore di riflessione ( $\rho$ )

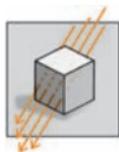
Il fattore di riflessione ( $\rho$ ) è una misura della capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi.



- $\rho$  dipende dalle proprietà superficiali, dalla temperatura e dal tipo di materiale.
- In generale, le superfici lisce e lucide riflettono più delle superfici ruvide e opache fatte dello stesso materiale.
- La temperatura riflessa può essere impostata manualmente nella termocamera (RTC).
- In molte applicazioni di misura, la RTC corrisponde alla temperatura ambiente. Potete misurarla usando per esempio il termometro per la misura della temperatura atmosferica testo 810.
- La RTC può essere determinata usando un radiatore di Lambert (cfr. "Misura della temperatura riflessa usando un radiato-

re (improvvisato) di Lambert”, p. 27).

- L'angolo di riflessione dei raggi infrarossi riflessi è sempre uguale all'angolo d'incidenza (cfr. “Riflessione speculare”, p. 31).



### Fattore di trasmissione ( $\tau$ )

Il fattore di trasmissione ( $\tau$ ) è una misura della capacità di un materiale di trasmettere (lasciar passare) i raggi infrarossi.

- $\tau$  dipende dal tipo e dallo spessore del materiale.
- La maggior parte dei materiali non sono trasmissivi, vale a dire permeabili ai raggi infrarossi a onda lunga.

### Legge di Kirchhoff sulla radiazione

I raggi infrarossi registrati dalla termocamera sono composti:

- dalla radiazione emessa dall'oggetto di misura,
- dalla riflessione della temperatura ambiente e
- dalla trasmissione della radiazione da parte dell'oggetto di misura.

(cfr. Fig. 1.1, p. 6)

Si assume che la somma di queste parti sia sempre 1 ( $\cong 100\%$ ):

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

Poiché la trasmissione raramente è rilevante nella pratica, la trasmissione  $\tau$  è omessa e la formula

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1$$

è semplificata in

$$\varepsilon + \rho = 1.$$

Per la termografia questo significa:

Quanto minore è l'emissività,

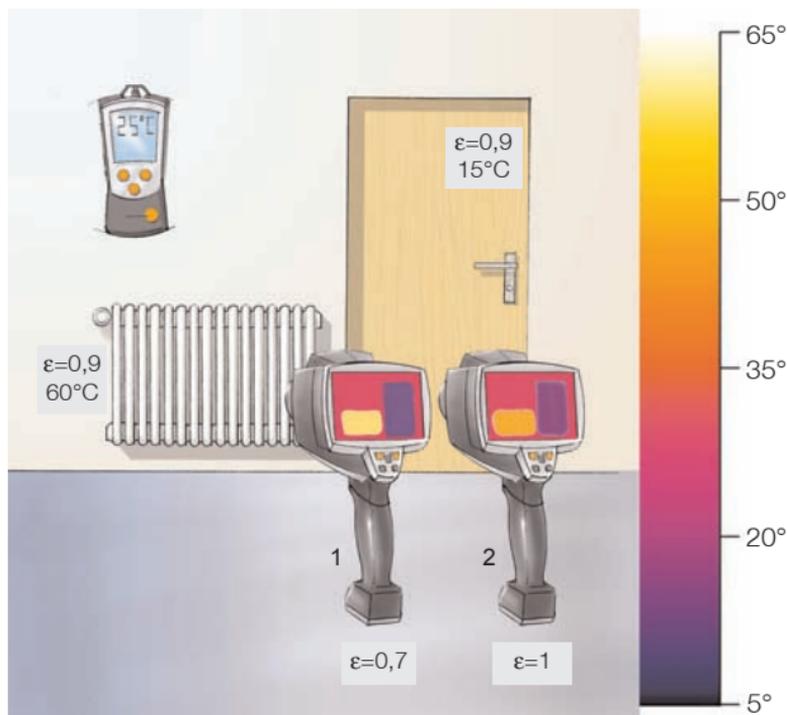
- ⇒ tanto maggiore è la quota di raggi infrarossi riflessi,
- ⇒ tanto più difficile è effettuare una misura precisa della temperatura e
- ⇒ tanto più importante è che la compensazione della temperatura riflessa (RTC) sia impostata correttamente.

### Correlazione tra emissione e riflessione

1. Gli oggetti di misura con emissività elevata ( $\epsilon \geq 0,8$ ):
  - ⇒ hanno un fattore basso di riflessione ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$ .
  - ⇒ La loro temperatura può essere misurata molto facilmente con la termocamera.
  
2. Gli oggetti di misura con emissività media ( $0,8 < \epsilon < 0,6$ ):
  - ⇒ hanno un fattore medio di riflessione ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$ .
  - ⇒ La loro temperatura può essere misurata con la termocamera.
  
3. Gli oggetti di misura con emissività bassa ( $\epsilon \leq 0,6$ )
  - ⇒ hanno un fattore elevato di riflessione ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$ .
  - ⇒ La loro temperatura può essere misurata con la termocamera, ma i risultati devono essere esaminati molto attentamente.
  - ⇒ È fondamentale impostare correttamente la compensazione della temperatura riflessa (RTC), in quanto è un fattore importante nel calcolo della temperatura.

Assicurarsi che l'impostazione dell'emissività sia corretta è particolarmente importante se vi sono grandi differenze di temperatura tra l'oggetto di misura e l'ambiente di misura.

1. Se la temperatura dell'oggetto di misura è superiore alla temperatura ambiente (cfr. calorifero mostrato nella Fig. 1.2, p.11):
  - ⇒ Impostazioni di emissività eccessivamente alte determinano letture della temperatura eccessivamente basse (cfr. termocamera 2).
  - ⇒ Impostazioni di emissività eccessivamente basse determinano letture della temperatura eccessivamente alte (cfr. termocamera 1).
2. Se la temperatura dell'oggetto di misura è inferiore alla temperatura ambiente (cfr. porta mostrata nella Fig. 1.2, p.11):
  - ⇒ Impostazioni di emissività eccessivamente alte determinano letture della temperatura eccessivamente alte (cfr. termocamera 2).
  - ⇒ Impostazioni di emissività eccessivamente basse determinano letture della temperatura eccessivamente basse (cfr. termocamera 1).



*Figura 1.2: Effetti di un'impostazione di emissività scorretta su misura della temperatura*

Nota: Quanto maggiore è la differenza tra la temperatura dell'oggetto di misura e la temperatura ambiente e quanto minore è l'emissività, tanto maggiori sono gli errori di misura. Questi errori aumentano se l'impostazione dell'emissività è scorretta.





- Con una termocamera si possono misurare soltanto le temperature superficiali; non è possibile guardare dentro qualcosa o attraverso qualcosa.
- Molti materiali come il vetro, che sono trasparenti all'occhio umano, non sono trasmissivi (permeabili) ai raggi infrarossi a onda lunga (cfr. "Misure su vetro", p. 30).
- Se necessario, rimuovere qualsiasi copertura dall'oggetto di misura, altrimenti la termocamera misurerà soltanto la temperatura superficiale della copertura.

**Attenzione:**

Seguire sempre le istruzioni operative per l'oggetto di misura!

- Tra i pochi materiali trasmissivi rientrano, per esempio, fogli sottili di plastica e il germanio, il materiale di cui sono fatti la lente e il vetro di protezione di una termocamera Testo.
- Se elementi collocati sotto la superficie influenzano la distribuzione della temperatura sulla superficie dell'oggetto di misura tramite conduzione, le strutture di design interno dell'oggetto di misura possono essere spesso individuate con la termocamera. Cionondimeno, la termocamera misura sempre soltanto la temperatura superficiale. Non è possibile un'affermazione esatta sui valori di temperatura degli elementi all'interno dell'oggetto di misura.

## 1.2 Area di misura e distanza di misura

Occorre considerare tre variabili per determinare la distanza di misura appropriata e l'oggetto di misura massimo visibile o misurabile:

- il campo visivo (FOV);
- il più piccolo oggetto identificabile ( $IFOV_{geo}$ ) e
- il più piccolo oggetto/area di misura misurabile ( $IFOV_{meas}$ ).

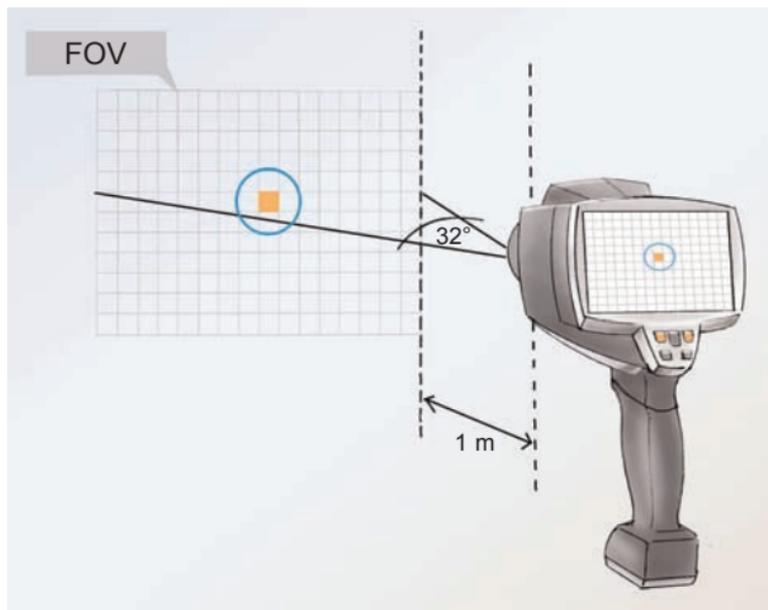


Figura 1.3: Il campo visivo della termocamera

Il campo visivo (FOV) della termocamera descrive l'area visibile con la termocamera (cfr. Fig. 1.3, p. 13). Questa è determinata dalla lente usata (es. lente grandangolare a 32° standard per testo 880, il teleobiettivo a 12° è disponibile come accessorio).



Per ottenere un campo visivo esteso, bisogna usare una lente grandangolare

Bisogna inoltre conoscere la specifica per il più piccolo oggetto identificabile ( $IFOV_{geo}$ ) della vostra termocamera. Questa definisce le dimensioni di un pixel in base alla distanza.

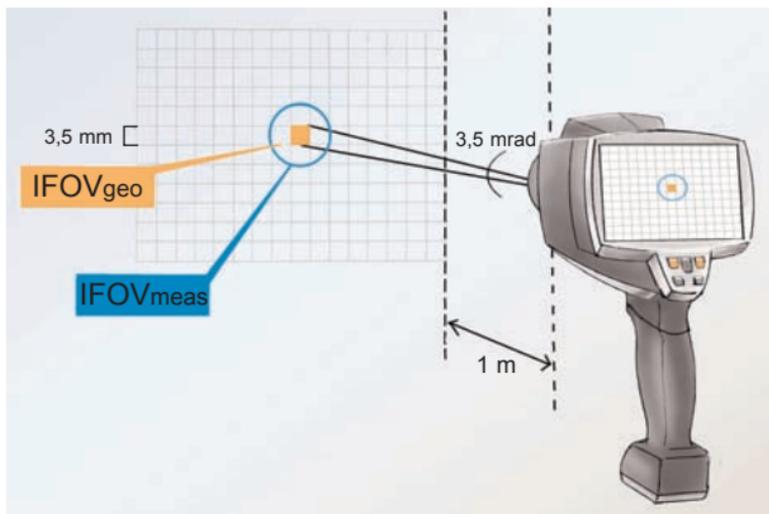


Figura 1.4: Campo visivo di un singolo pixel

Con una risoluzione spaziale della lente di 3,5 mrad e una distanza di misura di 1 m, il più piccolo oggetto identificabile ( $\text{IFOV}_{\text{geo}}$ ) ha una lunghezza del lato di 3,5 mm e viene mostrato sul display come un pixel (cfr. Fig. 1.4, p. 14). Per ottenere una misura precisa, l'oggetto di misura deve essere da 2 a 3 volte più grande del più piccolo oggetto identificabile ( $\text{IFOV}_{\text{geo}}$ ).

La seguente regola pratica si applica pertanto al più piccolo oggetto misurabile ( $\text{IFOV}_{\text{meas}}$ ):

$$\text{IFOV}_{\text{meas}} \approx 3 \times \text{IFOV}_{\text{geo}}$$

- Per una buona risoluzione spaziale, bisogna usare un teleobiettivo.
- Con il calcolatore FOV di Testo, si possono calcolare i valori FOV,  $\text{IFOV}_{\text{meas}}$  e  $\text{IFOV}_{\text{geo}}$  per diverse distanze. Richiedete questo pratico dischetto su [www.testo.it/FOV](http://www.testo.it/FOV) o calcolate i vostri valori online.



## 2 La termografia in pratica

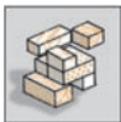
### 2.1 Oggetto di misura e ambiente di misura

L'oggetto di misura

#### 1. Materiale ed emissività

La superficie di ogni materiale ha una specifica emissività dalla quale deriva la quantità dei raggi infrarossi emessi dal materiale che vengono

- riflessi ed
- emessi (irradiati dall'oggetto stesso).



#### 2. Colore

Il colore di un materiale non produce alcun effetto evidente sui raggi infrarossi a onda lunga emessi dall'oggetto da misurare quando si misura la temperatura con una termocamera.

Le superfici scure assorbono maggiormente i raggi infrarossi a onda corta rispetto alle superfici chiare e quindi si riscaldano più velocemente. Tuttavia, i raggi infrarossi emessi dipendono dalla temperatura e non dal colore della superficie dell'oggetto di misura. Un calorifero verniciato di nero, per esempio, emette esattamente la stessa quantità di raggi infrarossi a onda lunga di un calorifero verniciato di bianco alla stessa temperatura.



#### 3. Superficie dell'oggetto di misura

Le proprietà della superficie dell'oggetto di misura svolgono un ruolo fondamentale nella misura della temperatura con una termocamera. Infatti, l'emissività della superficie varia in base alla struttura della superficie, allo sporco o al rivestimento.



### **Struttura della superficie**

Le superfici lisce, brillanti, riflettenti e/o lucide hanno generalmente un'emissività leggermente più bassa rispetto alle superfici opache, strutturate, ruvide, deteriorate e/o graffiate dello stesso materiale. Vi sono spesso riflessioni speculari con superfici estremamente lisce (cfr. "Riflessione speculare", p. 31).

### **Acqua, neve e brina sulla superficie**

L'acqua, la neve e la brina hanno emissività relativamente elevate (circa  $0,85 < \epsilon < 0,96$ ), quindi la misura di queste sostanze non presenta generalmente problemi. Tuttavia, bisogna tenere presente che la temperatura dell'oggetto di misura può essere alterata da rivestimenti naturali di questo tipo. Evaporando, l'acqua raffredda la superficie dell'oggetto di misura, mentre la neve ha buone proprietà isolanti. La brina di solito non forma una superficie impenetrabile, quindi bisogna considerare l'emissività sia della brina sia della superficie sottostante quando si esegue una misura.

### **Sporco e corpi estranei sulla superficie**

Lo sporco sulla superficie dell'oggetto di misura, come ad esempio polvere, fuliggine od olio lubrificante, generalmente aumenta l'emissività della superficie. Per questo motivo, misurare oggetti sporchi non crea di solito problemi. Tuttavia, la vostra termocamera misura sempre la temperatura della superficie, vale a dire dello sporco, e non la temperatura esatta della superficie dell'oggetto di misura sottostante.

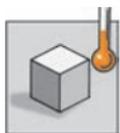


- L'emissività di un materiale dipende grandemente dalla struttura della superficie del materiale.
- Prestare attenzione alla corretta impostazione dell'emissività in base alla copertura sulla superficie dell'oggetto di misura.
- Evitare di misurare su superfici bagnate o su superfici coperte di neve o brina.
- Evitare di misurare sullo sporco non aderente (alterazione della temperatura dovuta a vuoti d'aria).
- Quando si misura in particolare su superfici lisce, tenere presente qualunque possibile fonte di radiazioni nelle vicinanze (es. sole, caloriferi ecc.).

## L'ambiente di misura

### 1. Temperatura ambiente

Occorre considerare anche l'impostazione della temperatura riflessa (RTC) così come l'impostazione dell'emissività ( $\epsilon$ ), in modo che la termocamera possa calcolare correttamente la temperatura della superficie dell'oggetto di misura. In molte applicazioni di misura, la temperatura riflessa corrisponde alla temperatura ambiente (cfr. "Radiazione", p. 19). Questa può essere misurata con un termometro per la misura della temperatura atmosferica, es. testo 810. Un'impostazione precisa dell'emissività è particolarmente importante quando vi è una grande differenza di temperatura tra l'oggetto di misura e l'ambiente di misura (cfr. Fig. 1.2, p. 11).





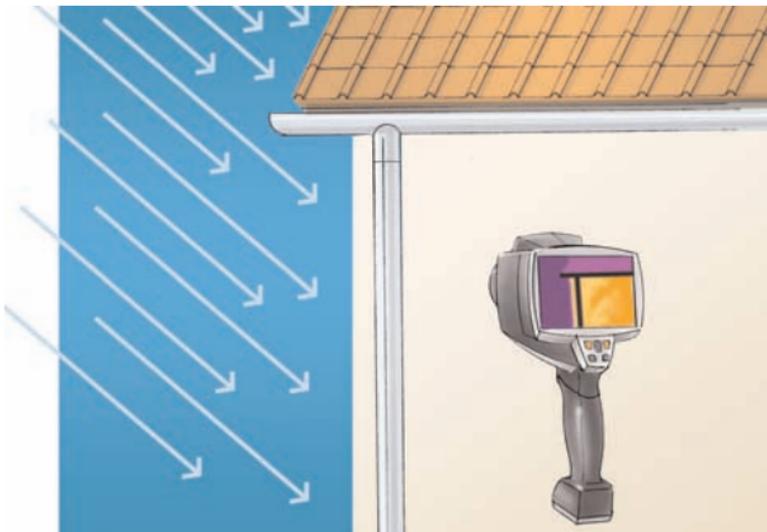
## 2. Radiazione

Ogni oggetto con una temperatura sopra lo zero assoluto ( $0 \text{ Kelvin} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) emette raggi infrarossi. In particolare, gli oggetti con una grande differenza di temperatura rispetto all'oggetto di misura possono disturbare la misura degli infrarossi per effetto delle loro radiazioni. Bisogna evitare o disattivare questo genere di fonti d'interferenza ogniqualvolta possibile. Schermando le fonti d'interferenza (es. con un telo o una scatola di cartone), si ridurrà questo effetto negativo sulla misura. Se non è possibile rimuovere l'effetto della fonte d'interferenza, la temperatura riflessa non corrisponde alla temperatura ambiente. Si raccomanda per esempio un globo termometro o un radiatore di Lambert per misurare la radiazione riflessa in combinazione con la termocamera (cfr. "Determinare la temperatura della radiazione riflessa", p. 27).

### Caratteristiche speciali della termografia all'aperto

I raggi infrarossi emessi dal cielo sereno sono denominati in via informale "radiazione celeste diffusa fredda". Se il cielo è sereno, la "radiazione celeste diffusa fredda" (da  $\sim -50 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e i raggi caldi del sole ( $\sim 5500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) vengono riflessi nel corso della giornata. In termini di area, il cielo sorpassa il sole, nel senso che la temperatura riflessa nella termografia all'aperto è di solito sotto  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , anche in una giornata di sole. Gli oggetti si riscaldano al sole perché assorbono la luce solare. Ciò influisce notevolmente sulla temperatura superficiale, talvolta per ore intere dopo l'esposizione alla luce del sole.

Nella Figura 2.1 (p. 20) si può vedere che la grondaia appare più fredda rispetto alla parete della casa sulla termocamera. Eppure hanno entrambe più o meno la stessa temperatura. L'immagine deve



*Figura 2.1: Riflessione per le misure all'aperto*

quindi essere interpretata. Ipotizziamo che la superficie della grondaia sia galvanizzata e abbia un'emissività estremamente bassa ( $\epsilon = 0,1$ ). Solo il 10% dei raggi infrarossi a onda lunga emessi dalla grondaia è quindi una radiazione intrinseca emessa, mentre il 90% è una radiazione ambiente riflessa. Se il cielo è sereno, la "radiazione celeste diffusa fredda" (da  $\sim -50$  °C a  $-60$  °C) viene riflessa sulla grondaia. La termocamera è impostata a  $\epsilon = 0,95$  e  $RTC = -55$  °C per garantire una misura corretta della parete della casa. A causa dell'emissività estremamente bassa e del fattore di riflessione estremamente alto, la grondaia appare troppo fredda sulla termocamera. Per mostrare correttamente le temperature di entrambi i materiali sull'immagine termica, si può cambiare l'emissività di determinate aree in maniera retrospettiva, usando software di analisi (es. con Testo IRSof, versione 2.0 o superiore).

- Tenere sempre presente l'effetto della riflessione del proprio calore corporeo sull'oggetto misurato.
- Cambiare posizione durante la misura al fine di individuare qualunque riflessione. Le riflessioni si spostano, mentre le caratteristiche termiche dell'oggetto di misura rimangono allo stesso posto, anche se cambia l'inclinazione.
- Evitare di effettuare misure vicino a oggetti molto caldi o molto freddi, oppure schermarli.
- Evitare la luce solare diretta, anche qualche ora prima della misura. Effettuare le misure al mattino presto.
- Ogniqualvolta possibile, effettuare le misure all'aperto quando il cielo è nuvoloso.



### 3. Condizioni meteorologiche

#### Nuvole

Un cielo coperto di nuvole offre le condizioni ideali per le misure degli infrarossi all'aperto, in quanto scherma l'oggetto dalla luce solare e dalla "radiazione celeste diffusa fredda" (cfr. "Radiazione", p. 19).



#### Precipitazioni

Le forti precipitazioni (pioggia, neve) possono alterare il risultato della misura. L'acqua, il ghiaccio e la neve hanno un'emissività elevata e sono opachi ai raggi infrarossi. Inoltre, la misura di oggetti bagnati può determinare errori di misura, in quanto la

superficie dell'oggetto di misura si raffredda man mano che le precipitazioni evaporano (cfr. "Superficie dell'oggetto di misura", p. 16).

## Sole

(cfr. "Radiazione", p. 19)



- Eseguire preferibilmente le misure in presenza di nuvole fitte.
- Verificare la presenza di nuvole anche qualche ora prima della misura.
- Evitare le forti precipitazioni durante la misura.

## 4. Aria

### Umidità dell'aria

L'umidità relativa dell'aria nell'ambiente di misura deve essere abbastanza bassa da evitare la formazione di condensa nell'aria, sull'oggetto di misura, sul vetro di protezione o sulla lente della termocamera. Se la lente (o il vetro di protezione) si è appannata, alcuni dei raggi infrarossi che colpiscono la termocamera non saranno ricevuti, in quanto la radiazione non riuscirà a penetrare completamente attraverso l'acqua sulla lente.



Una forte condensa può influenzare la misura, in quanto le goccioline d'acqua nel percorso di trasmissione lasciano passare meno raggi infrarossi.

## **Flussi d'aria**

Il vento o una corrente d'aria nella stanza possono influenzare la misura della temperatura con la termocamera.

Per effetto dello scambio di calore (convezione), l'aria vicino alla superficie ha la stessa temperatura dell'oggetto di misura. Se c'è vento o una corrente d'aria, questo strato d'aria viene "spazzato via" e sostituito da un nuovo strato d'aria che non si è ancora adattata alla temperatura dell'oggetto di misura. A seguito della convezione, il calore viene portato via dall'oggetto di misura caldo o assorbito dall'oggetto di misura freddo fino a quando la temperatura dell'aria e della superficie dell'oggetto di misura non si adattano l'una all'altra. Questo effetto dello scambio di calore aumenta quanto maggiore è la differenza di temperatura tra la superficie dell'oggetto di misura e la temperatura ambiente.

## **Inquinamento atmosferico**

Alcune sostanze sospese, come per esempio la polvere, la fuliggine, il fumo e alcuni vapori, hanno un'emissività elevata e sono a malapena trasmissive. Ciò significa che possono pregiudicare la misura, in quanto emettono raggi infrarossi propri che vengono ricevuti dalla termocamera. Inoltre, solo alcuni dei raggi infrarossi dell'oggetto di misura possono penetrare attraverso la termocamera, in quanto vengono sparpagliati e assorbiti dalle sostanze sospese.



- Non eseguire mai misure in presenza di forte condensa o sopra vapore acqueo.
- Non eseguire misure quando l'umidità dell'aria si condensa sulla termocamera (cfr. *Acqua, neve e brina sulla superficie*", p. 17).
- Evitare vento e altri flussi d'aria durante la misura ogniqualvolta possibile.
- Tenere presente la velocità e la direzione dei flussi d'aria durante la misura e considerare questi dati nell'analisi delle immagini termiche.
- Non eseguire misure in presenza di aria fortemente inquinata (es. subito dopo che è stata sollevata della polvere).
- Misurare sempre alla minore distanza possibile per la vostra applicazione di misura al fine di ridurre al minimo l'effetto di qualunque sostanza sospesa nell'aria.

## 5. Luce

La luce o l'illuminazione non hanno un impatto significativo sulla misura con una termocamera. Si possono effettuare misure anche al buio, in quanto la termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga. Tuttavia, alcune fonti luminose emettono esse stesse raggi infrarossi di calore e possono quindi influenzare la temperatura degli oggetti nelle loro vicinanze. Non bisogna quindi misurare alla luce diretta del sole o vicino a un bulbo luminoso incandescente, per esempio. Le fonti di luce fredda come ad esempio i LED o le luci al neon non sono problematiche, in quanto convertono la maggior parte dell'energia usata in luce visibile e non in raggi infrarossi.



## 2.2 Determinare $\epsilon$ e RTC nelle applicazioni pratiche

Per determinare l'emissività della superficie dell'oggetto di misura, è possibile per esempio:

- fare riferimento all'emissività indicata in una tabella (cfr. "Tabella dell'emissività", p. 50).

### Attenzione:

I valori nelle tabelle dell'emissività sono sempre e solo valori orientativi. L'emissività della superficie del vostro oggetto di misura potrebbe quindi differire dal valore orientativo specificato.

- determinare l'emissività tramite una misura di riferimento con un termometro a contatto (es. con testo 905-T2 o testo 925) (cfr. "Metodo che utilizza un termometro a contatto", p. 25).
- determinare l'emissività tramite una misura di riferimento con termocamera (cfr. "Metodo che utilizza la termocamera", p. 26).

## Determinare l'emissività per mezzo di una misura di riferimento

### 1. Metodo che utilizza un termometro a contatto

Misurare anzitutto la temperatura riflessa impostandola nella termocamera, poi misurare la temperatura di superficie dell'oggetto misurato con un termometro a contatto (es. testo 905-T2 o testo 925). Ora misurare la temperatura della superficie dell'oggetto di misura con la termocamera con un'emissività preimpostata pari a uno. La differenza tra i valori di temperatura misurati con il termometro a contatto e con la termocamera è dovuta al fatto che l'emissività impostata è troppo alta. Abbassando gradualmente l'impostazione dell'emissi-

vità, potete cambiare la temperatura misurata finché non corrisponde al valore ottenuto nella misura a contatto. L'emissività così impostata corrisponde all'emissività della superficie dell'oggetto di misura.

## **2. Metodo che utilizza la termocamera**

Misurare anzitutto la temperatura riflessa impostandola nella termocamera, poi attaccare un pezzo di nastro adesivo emissivo (es. nastro adesivo emissivo resistente al calore di Testo) all'oggetto misurato. Dopo aver aspettato un po', potete misurare la temperatura della superficie dell'oggetto di misura nell'area coperta dal nastro usando la vostra termocamera con un'emissività impostata per il nastro adesivo. Questa temperatura è la vostra temperatura di riferimento. Ora regolate l'impostazione dell'emissività fino a quando la termocamera non misura una temperatura uguale alla temperatura di riferimento appena misurata nell'area che non è stata ricoperta con il nastro. L'emissività ora impostata è l'emissività della superficie dell'oggetto di misura.

Come alternativa al nastro adesivo emissivo, potete anche:

- ricoprire l'oggetto di misura con un rivestimento o una vernice con un'emissività conosciuta.
- ricoprire l'oggetto di misura con uno spesso strato ( $> 0,13$  mm) di olio resistente al calore ( $\epsilon \approx 0,82$ ).
- ricoprire l'oggetto di misura con uno spesso strato di fuliggine ( $\epsilon \approx 0,95$ ).

- **Attenzione:**

Seguire sempre le istruzioni operative per l'oggetto di misura!

- Quando si riveste l'oggetto di misura o lo si avvolge nel nastro adesivo, tenere presente il fatto che il rivestimento o il nastro adesivo deve anzitutto adattarsi alla temperatura dell'oggetto prima di poter effettuare una misura corretta.



## Determinare la temperatura della radiazione riflessa

Una volta eliminate tutte le possibili fonti d'interferenza che potrebbero influenzare la vostra misura, la temperatura dei raggi infrarossi riflessi è la stessa della temperatura ambiente. Potete misurare la temperatura ambiente con un termometro per la misura della temperatura atmosferica, es. testo 810, e inserire conseguentemente la RTC nella vostra termocamera.

Tuttavia, se nell'ambiente di misura sono presenti fonti di radiazione, dovete determinare la temperatura della radiazione riflessa per assicurare un risultato di misura preciso.

### **Misura della temperatura riflessa utilizzando un radiatore (improvvisato) di Lambert**

Un radiatore di Lambert è un oggetto che riflette la radiazione incidente con diffusione ottimale, in altre parole con la stessa forza in tutte le direzioni.

Potete misurare la temperatura della radiazione riflessa su un radiatore di Lambert usando la termocamera. Un pezzo di foglio di alluminio accartocciato e quindi disteso è un sostituto adatto di un radiatore di Lambert per questo scopo. Il foglio ha un elevato fattore di riflessione e, grazie alla struttura accartocciata, la riflessione diffusa della radiazione è quasi perfetta (cfr. Fig. 2.3, lato destro del foglio di alluminio, p. 32).

Per misurare la temperatura della radiazione riflessa, posizionare il radiatore di Lambert vicino all'oggetto di misura o idealmente sulla superficie dell'oggetto di misura. Quindi misurare la temperatura sul radiatore con l'emissività impostata su uno. La termocamera calcolerà adesso la temperatura della radiazione incidente. A questo punto potete inserire questo valore come la RTC nella vostra termocamera e misurare la temperatura dell'oggetto di misura con l'emissività impostata per la superficie del vostro oggetto di misura.

## 2.3 Fonti di errore nella misura degli infrarossi

I seguenti fattori possono alterare il risultato della vostra misura degli infrarossi:

- Impostazione scorretta dell'emissività
  - ⇒ Determinare e impostare l'emissività corretta (cfr. "Determinare l'emissività tramite una misura di riferimento", p. 25).
- Impostazione scorretta della RTC
  - ⇒ Determinare e impostare la temperatura riflessa (cfr. "Determinare la temperatura della radiazione riflessa", p. 27).
- Immagine termica non chiara
  - ⇒ Mettere a fuoco l'immagine termica sul posto, in quanto la

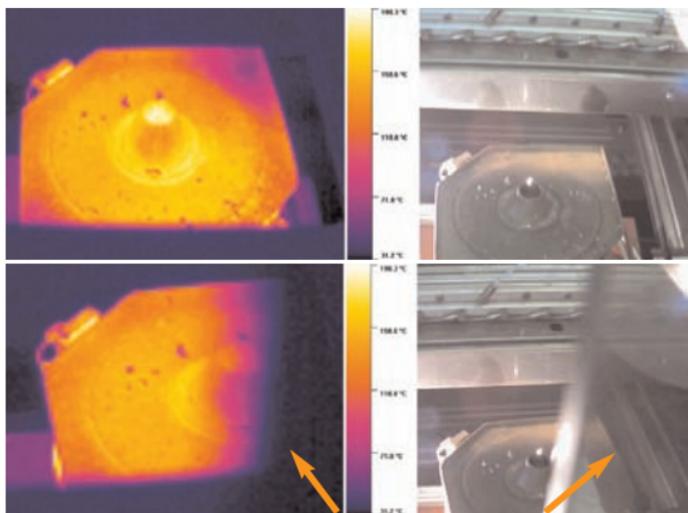
nitidezza non può essere cambiata una volta scattata la foto.

- La distanza di misura è troppo grande o troppo piccola
- Misura effettuata con una lente inadatta
- Area di misura troppo grande
  - ⇒ Quando si effettua la misura, tenere presente la distanza minima di messa a fuoco della vostra termocamera.
  - ⇒ Come quando si scatta una normale fotografia, usare il teleobiettivo e la lente grandangolare in maniera appropriata.
  - ⇒ Scegliere una distanza di misura piccola, se possibile.
- Errori nel percorso di trasmissione (es. inquinamento atmosferico, coperture, ecc.)
- Effetto di fonti di radiazione esterne (es. bulbi luminosi, sole, caloriferi, ecc.)
- Erronea interpretazione dell'immagine termica a causa della riflessione
  - ⇒ Evitare di misurare dove vi sono fonti d'interferenza.
  - ⇒ Disattivare o schermare le fonti d'interferenza ogniqualvolta possibile, o tenere conto della loro influenza nell'analisi dell'immagine termica.
- Repentini cambiamenti della temperatura ambiente
  - ⇒ Se si verificano cambiamenti della temperatura ambiente da freddo a caldo, sussiste il rischio di condensa sulla lente.
  - ⇒ Ogniqualvolta possibile, usare termocamere con rilevatori stabilizzati alla temperatura.
- Erronea interpretazione dell'immagine termica dovuta a mancanza di conoscenza del design dell'oggetto di misura

- ⇒ Il tipo e il design dell'oggetto di misura devono essere noti.
- ⇒ Usare anche immagini reali (foto) ogni qualvolta possibile per interpretare le immagini termiche.

### Misure su vetro

L'occhio umano vede attraverso il vetro, ma il vetro è opaco ai raggi infrarossi. Pertanto, la termocamera misura solo la temperatura superficiale del vetro e non la temperatura dei materiali dietro ad esso (cfr. Fig. 2.2). Il vetro è però trasmissivo per le radiazioni a onda corta, come la luce solare. Bisogna quindi considerare che i raggi del sole che passano attraverso la finestra, per esempio, potrebbero riscaldare il vostro oggetto di misura.



Lastra di vetro inserita di fronte all'oggetto di misura

Figura 2.2: Misura su vetro

Il vetro è anche un materiale riflettente. Fate quindi attenzione alla riflessione speculare quando misurate su vetro (cfr. “Riflessione speculare”, p. 31).

### **Misure su metallo**

I metalli, in particolare quelli con una superficie lucente, sono forti riflettori di raggi infrarossi a onda lunga. Essi hanno un'emissività estremamente bassa, che cambia con la temperatura (cfr. “Corpi colorati”, p. 40). Misurarne la temperatura con una termocamera presenta pertanto dei problemi. Oltre alla regolazione dell'emissività, l'impostazione corretta della temperatura riflessa (cfr. “Determinare la temperatura della radiazione riflessa”, p. 27) è particolarmente importante. Si noti anche il consiglio dato in merito alla riflessione speculare (cfr. “Riflessione speculare”, p. 31). Se i metalli sono verniciati, misurare non comporta problemi in quanto le vernici hanno generalmente un'emissività elevata. Tuttavia, anche in questo caso bisogna prestare attenzione alle riflessioni della radiazione ambiente.

### **Riflessione speculare**

Una riflessione speculare chiaramente visibile è spesso un indicatore di una superficie altamente riflettente, es. una superficie con bassa emissività. Tuttavia, altamente speculare non significa sempre altamente riflettente. Per esempio, riflessioni speculari della radiazione ambiente si possono osservare sull'immagine termica di una superficie verniciata (es. la sagoma della persona che effettua la lettura), anche se la vernice ha generalmente un'emissività elevata ( $\epsilon \approx 0,95$ ). Viceversa, i contorni degli oggetti riflessi nell'ambiente di misura non possono essere visti sull'immagine termica per

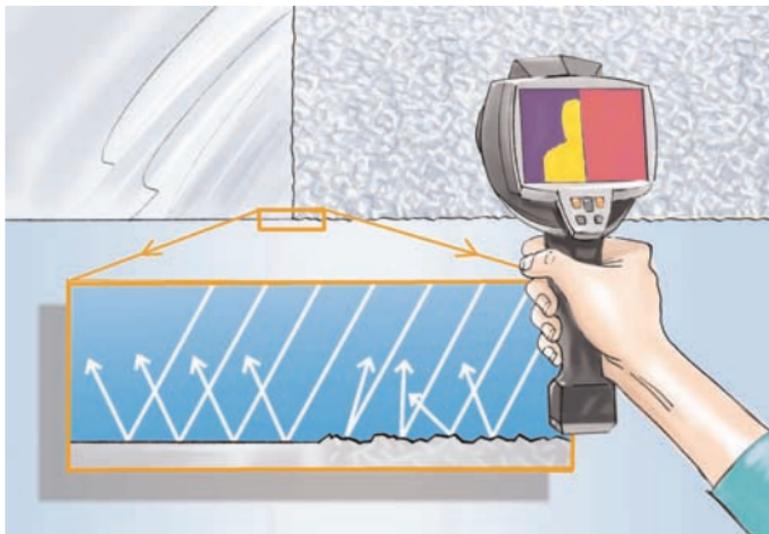


Figura 2.3: Riflessione speculare e diffusa

esempio di un muro di arenaria, sebbene l'arenaria abbia una bassa emissività ( $\epsilon \approx 0,67$ ). Il fatto che la radiazione ambiente sia o meno riflessa specularmente in contorni ben definiti non dipende quindi innanzitutto dall'emissività, bensì dalla struttura della superficie.

Tutte le radiazioni sono sempre riflesse con la stessa angolazione con la quale colpiscono la superficie. Ciò significa che vale sempre la seguente regola pratica: angolo d'incidenza = angolo di riflessione. Questo è chiaramente riconoscibile nella Figura 2.3 nella sezione trasversale ingrandita della metà liscia del foglio di alluminio (lato sinistro). Qui i raggi infrarossi della persona che

effettua la lettura sono riflessi nella stessa forma nella quale colpiscono la superficie (riflessione speculare).

Naturalmente la regola angolo d'incidenza = angolo di riflessione vale anche per i raggi infrarossi che colpiscono il foglio di alluminio accartocciato (lato destro). Qui, però, i raggi infrarossi cadono su aree parziali con angolazioni differenti rispetto a una superficie liscia. Come su un radiatore di Lambert, sono quindi riflessi in direzioni diverse. Questa riflessione diffusa significa che non si vede nessun contorno delle fonti di raggi infrarossi riflessi. La riflessione su tutto il lato accartocciato del foglio di alluminio è una miscela di raggi infrarossi delle due fonti riflesse di radiazione (la persona che effettua la lettura e lo sfondo dietro la persona che effettua la lettura).

- Altamente speculare non significa sempre altamente riflettente.
- Tenere sempre presente l'effetto dei propri raggi infrarossi personali.
- Le superfici su cui non si può rilevare alcuna riflessione speculare possono avere comunque un fattore di riflessione elevato.
- Misurare le superfici lisce da angolazioni e direzioni diverse per stabilire quali irregolarità nella distribuzione della temperatura sono attribuibili alla riflessione e quali sono imputabili all'oggetto di misura.



## 2.4 Le condizioni ottimali per la misura degli infrarossi

Per la misura degli infrarossi sono importanti soprattutto condizioni ambientali stabili. Ciò significa che il clima e gli oggetti nell'ambiente di misura, così come qualunque altra influenza, non devono cambiare durante la misura. Questo è l'unico modo per valutare possibili fonti d'interferenza e documentarle per la successiva analisi.

Per misure all'aperto, le condizioni atmosferiche devono essere stabili e il cielo nuvoloso al fine di schermare l'oggetto di misura sia dalla luce diretta del sole sia dalla "radiazione celeste diffusa fredda". Bisogna anche tenere presente che gli oggetti di misura possono essere ancora caldi per effetto della precedente esposizione alla luce solare a causa della loro capacità di accumulare calore.

Le condizioni di misura ideali sono:

- Condizioni atmosferiche stabili;
- Cielo nuvoloso prima e durante la misura (per misure all'aperto);
- Assenza di luce solare diretta prima e durante la misura;
- Assenza di precipitazioni;
- Superficie dell'oggetto di misura asciutta e priva di fonti termiche d'interferenza (es. assenza di foglie sulla superficie);
- Assenza di vento o correnti d'aria;

- Assenza di fonti d'interferenza nell'ambiente di misura o nel percorso di trasmissione;
- La superficie dell'oggetto di misura ha un'emissività elevata che è conosciuta esattamente.

Per la termografia edile, si raccomanda una differenza di almeno 15 °C tra la temperatura esterna e quella interna.

## 2.5 L'immagine termica perfetta

Quando si scatta un'immagine termica, bisogna sempre prestare attenzione a due cose in particolare:

- scegliere il giusto campo d'inquadratura e
- mettere a fuoco correttamente l'immagine termica sull'area rilevante per la misura.

Come con una normale fotografia digitale, non si possono modificare né il campo d'inquadratura né l'immagine, una volta che l'immagine termica è stata salvata.

Per ottenere un'immagine termica perfetta, si possono apportare le seguenti modifiche nella termocamera e nel software di analisi (es. Testo IRSoft):

- Modificare l'impostazione dell'emissività e della compensazione della temperatura riflessa (RTC).  
Ciò può essere fatto anche punto per punto o per sezioni con un software di analisi professionale come Testo IRSoft 2.0.
- Scegliere una paletta di colori adeguata (es. ferro, arcobaleno ecc.).

In base alla paletta di colori si otterrà un'immagine termica a

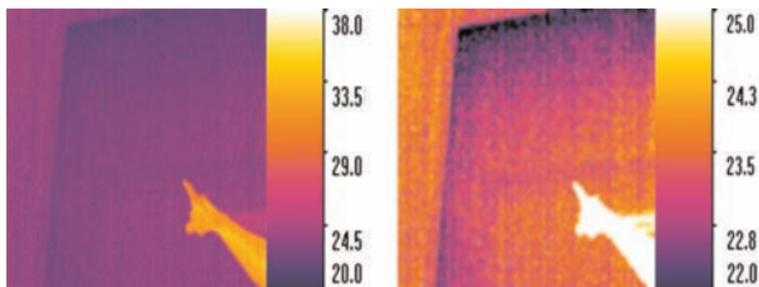


Figura 2.4: Regolare la scala di temperatura

contrasto elevato e facile da interpretare.

- Regolare manualmente la scala di temperatura.

In questo modo potete migliorare la gradazione di temperatura o di colore della vostra immagine termica (cfr. Fig. 2.4).

Osservare i seguenti consigli per scattare l'immagine termica:

- Considerare, prevenire o schermare tutte le fonti d'interferenza.
- La superficie dell'oggetto di misura deve essere priva di fonti ottiche e termiche d'interferenza.

Ove possibile, rimuovere le coperture e gli oggetti che causano interferenza dall'ambiente.

- Cambiare posizione quando si effettua la misura al fine di individuare qualunque riflessione.

Le riflessioni si spostano, mentre le caratteristiche termiche dell'oggetto di misura restano nello stesso posto, anche se cambia l'inclinazione.

- L'area di misura non deve mai essere più grande dell'oggetto di

misura.

- Mantenere la distanza di misura quanto più piccola possibile.
- Usare una lente appropriata per il vostro tipo di misura.
- Per una misura esatta dei dettagli, si raccomanda di usare un cavalletto.
- Il design dell'oggetto di misura deve essere noto, al fine di poter identificare correttamente le caratteristiche termiche.
- Utilizzare una termocamera con una fotocamera digitale integrata in modo da poter usare immagini reali per l'analisi in un momento successivo.
- Annotare tutte le condizioni ambiente e misurarle e documentarle dove necessario per un'analisi successiva delle immagini termiche.

## 3 Appendice

### 3.1 Glossario della termografia

#### A

---

##### **Area di misura**

Cfr. "IFOV<sub>meas</sub>", p. 44.

##### **Assorbimento**

Quando i raggi infrarossi elettromagnetici colpiscono un oggetto, l'oggetto assorbe un po' di quest'energia. L'assorbimento dei raggi infrarossi significa che l'oggetto si riscalda. Gli oggetti più caldi emettono più raggi infrarossi degli oggetti più freddi. I raggi infrarossi assorbiti sono così convertiti in raggi infrarossi emessi (che si irradiano dall'oggetto). Il coefficiente d'assorbimento corrisponde pertanto all'emissività.

I raggi infrarossi incidenti sull'oggetto che non vengono assorbiti sono riflessi e/o trasmessi (lasciati passare).

#### C

---

##### **Celsius [°C]**

Unità di temperatura. In condizioni di pressione normale, il punto zero della scala Celsius (0 °C) è la temperatura di fusione dell'acqua. Un altro punto fisso per la scala Celsius è il punto di ebollizione dell'acqua a 100 °C.

$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32)/1,8$  o  $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$ .

## Condensazione

Passaggio di una sostanza dallo stato gassoso a quello liquido. L'umidità dell'aria può condensarsi sulle superfici se la temperatura superficiale e quindi la temperatura dell'aria sulla superficie è inferiore alla temperatura dell'aria circostante o se ha raggiunto la temperatura del punto di rugiada.

## Conduzione

Conduzione di calore. Trasferimento di energia termica tra particelle limitrofe. L'energia è sempre trasferita dalla particella più calda a quella più fredda. Diversamente dalla convezione, non vi è alcun trasporto di particelle nella conduzione.

## Convezione

Trasporto di calore in cui l'energia termica si sposta da un corpo, per effetto di un fluido termovettore (liquido o gas).

## Corpo colorato

Un oggetto con un'emissività inferiore a uno che dipende dalla temperatura e varia con essa. La maggior parte dei metalli sono corpi colorati, il che spiega perché l'emissività dell'alluminio, per esempio, aumenta quando si riscalda ( $\epsilon = 0,02$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\epsilon = 0,03$  a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

## Corpo grigio

Quasi tutti gli oggetti presenti in natura sono descritti come "corpi grigi" o "corpi reali". A differenza dei corpi neri, i corpi grigi non

assorbono mai tutti i raggi infrarossi incidenti. Con un corpo grigio, alcuni dei raggi incidenti sono sempre riflessi dalla superficie e talvolta persino trasmessi (lasciati passare). L'emissività di un corpo grigio è quindi sempre inferiore a uno.

### **Corpo ideale**

Cfr. "Corpo nero", p. 38.

### **Corpo nero**

Un oggetto che assorbe tutta l'energia dai raggi infrarossi incidenti, la converte in raggi infrarossi propri e la emette totalmente. L'emissività dei corpi neri è solo una. Quindi non c'è alcuna riflessione né trasmissione di raggi. Gli oggetti con proprietà di questo tipo non esistono nella realtà.

I dispositivi per la taratura delle termocamere sono conosciuti come corpi neri. Tuttavia, la loro emissività è di poco inferiore a 1 ( $\epsilon > 0,95$ ).

### **Corpo reale**

Cfr. "Corpo grigio", p. 43.

## **E**

---

### **Emissività ( $\epsilon$ )**

Una misura della capacità di un materiale di emettere (emanare) raggi infrarossi. L'emissività varia in base alle proprietà superficiali, al materiale e, per alcuni materiali, anche in base alla tempera-

tura dell'oggetto.

## F

---

### **Fahrenheit [°F]**

Unità di temperatura usata principalmente in Nord America.

$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$ .

Esempio di 20 °C in °F:  $(20\text{ }^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = 68\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

### **Fattore di riflessione (ρ)**

La capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi. Il fattore di riflessione dipende dalle proprietà superficiali, dalla temperatura e dal tipo di materiale.

### **Fattore di trasmissione (T)**

Misura della capacità di un materiale di lasciarsi attraversare dai raggi infrarossi. Dipende dallo spessore e dal tipo di materiale. La maggior parte dei materiali non sono permeabili ai raggi infrarossi a onda lunga.

### **Frequenza di rinfresco**

Specifica in hertz di quante volte al secondo l'immagine visualizzata viene rinfrescata (es. 9 Hz/33 Hz/60 Hz). Una frequenza di rinfresco di 9 Hz significa che la termocamera aggiorna l'immagine termica nel display nove volte al secondo.

## **FOV (Campo visivo)**

Il campo visivo della termocamera. È specificato come angolazione (es. 32°) e definisce l'area che può essere vista con la termocamera. Il campo visivo dipende dalla lente usata. Le lenti grandangolari hanno un campo visivo ampio, i teleobiettivi (es. teleobiettivo da 12° Testo) hanno un campo visivo piccolo.

## I

---

### **IFOV<sub>geo</sub> (Campo visivo istantaneo)**

Risoluzione geometrica (risoluzione spaziale). Misura della capacità di un rilevatore, in combinazione con la lente, di dare risoluzione ai dettagli. La risoluzione geometrica è specificata in mrad (= milliradiani) e definisce il più piccolo oggetto che può essere riprodotto sull'immagine termica, in base alla distanza di misura. Sull'immagine termica, le dimensioni di quest'oggetto corrispondono a un pixel.

### **IFOV<sub>meas</sub> (Misura del campo visivo istantaneo)**

Designazione del più piccolo oggetto per il quale la termocamera può misurare con esattezza la temperatura. È da 2 a 3 volte più grande del più piccolo oggetto identificabile (IFOV<sub>geo</sub>).

Si applica la seguente regola pratica:  $IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$ .

IFOV<sub>meas</sub> è anche nota come area di misura.

### **Immagine termica**

Immagine che mostra le distribuzioni della temperatura sulle superfici degli oggetti usando colori diversi per valori di tempera-

tura diversi. Le immagini termiche vengono scattate con una termocamera.

## Isoterme

Linee alla stessa temperatura. Potete visualizzare le isoterme usando il software di analisi (es. Testo IIRSoft). Nel processo, tutte le aree nell'immagine termica con valori di temperatura entro una gamma definita sono evidenziate con un colore.

## K

---

### Kelvin [K]

Unità di temperatura.

0 K corrisponde allo zero assoluto (-273,15 °C). Si applica pertanto quanto segue:  $273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C} = 32 \text{ °F}$ .

$\text{K} = \text{°C} + 273,15$ .

Esempio di 20 °C in K:  $20 \text{ °C} + 273,15 = 293,15 \text{ K}$ .

## L

---

### Lenti

Le dimensioni del campo visivo della termocamera e a loro volta le dimensioni dell'area di misura cambiano in base alla lente usata. Una lente grandangolare (es. lente standard da 32° per testo 880) è particolarmente idonea se si vuole una panoramica della distribuzione della temperatura su una superficie ampia. Si può usare un teleobiettivo (es. teleobiettivo da 12° Testo) per misurare accuratamente piccoli dettagli, persino da una distanza più grande.

## M

---

### **Misura su due punti**

La misura su due punti ha due reticoli nel display della termocamera per la lettura delle singole temperature.

## N

---

### **NETD (Noise Equivalent Temperature Difference)**

Rappresenta la più piccola differenza di temperatura possibile che la termocamera può percepire. Quanto più piccolo è questo valore, tanto migliore è la risoluzione di misura della termocamera.

## P

---

### **Paletta di colori**

Selezione di colori per l'immagine termica nella termocamera (es. paletta di colori "arcobaleno", "ferro", "gradazioni del grigio"). I contrasti delle immagini termiche sono visualizzabili con qualità variabile, a seconda del tipo di misura e della paletta di colori impostata. La paletta di colori può anche essere impostata singolarmente usando un software di analisi (es. Testo IRSOFT) dopo che l'immagine termica è stata salvata. Quando selezionate i colori, tenete presente l'interpretabilità della vostra immagine termica. Un osservatore associa intuitivamente i colori rosso e giallo al caldo, verde e blu al freddo.

### **Periodo necessario a stabilizzare la misura**

Il tempo che serve alla termocamera per adattarsi alla temperatu-

ra ambiente del luogo.

I rilevatori stabilizzati in temperatura, come quello nella termocamera testo 880, necessitano di poco tempo per stabilizzare la misura.

### **Puntatore laser per delimitare l'area di misura**

Un laser supporta il puntamento sulla superficie di misura (un punto rosso viene proiettato sull'oggetto di misura). Il puntamento del laser e il centro dell'immagine non corrispondono esattamente perchè si trovano su assi ottici diversi. Il laser non è quindi adatto a delimitare i punti esatti individuati nel display usando il reticolo. Serve solo come guida.

#### **Attenzione:**

Laser di classe 2: non dirigere mai il laser su persone o animali e non guardare mai dentro il laser! Può danneggiare gli occhi!

### **Punto caldo**

Cfr. "Punto freddo e punto caldo", p. 39

### **Punto di rugiada/temperatura del punto di rugiada**

Temperatura alla quale si condensa l'acqua. Alla temperatura del punto di rugiada, l'aria è satura di vapore acqueo. Quando l'aria non può più assorbire vapore acqueo, si forma la condensa.

### **Punto freddo e punto caldo**

Il punto più freddo di un'area sull'immagine termica è denominato "punto freddo", mentre il punto più caldo è denominato "punto

caldo”.

Usando la funzione “Riconoscimento automatico punto caldo/freddo”, potete visualizzare questi due punti direttamente sulla vostra immagine termica nel display della termocamera. Questa funzione è disponibile anche in molti pacchetti software di analisi, per esempio in Testo IRSOFT 2.0. In questo software potete anche visualizzare questi due punti per qualsiasi area dell’immagine termica che volete definire.

## R

---

### **Radiatore di Lambert**

Un radiatore di Lambert è un oggetto che riflette la radiazione incidente con la diffusione ottimale; in altre parole, la radiazione incidente è riflessa con uguale forza in tutte le direzioni.

Potete misurare la temperatura della radiazione riflessa su un radiatore di Lambert usando la termocamera.

### **Raggi infrarossi**

I raggi infrarossi sono una radiazione elettromagnetica di calore. Ogni oggetto con una temperatura superiore al punto di zero assoluto (0 Kelvin = -273,15 °C) emette raggi infrarossi. I raggi infrarossi coprono la gamma di lunghezze d’onda da 0,75  $\mu\text{m}$  fino a circa 1.000  $\mu\text{m}$  (= 1 mm) e sono quindi attigui alla gamma di lunghezze d’onda per la luce (da 0,38 a 0,75  $\mu\text{m}$ ). Le termocamere misurano spesso i raggi infrarossi a onda lunga nella gamma da 8  $\mu\text{m}$  a 14  $\mu\text{m}$  (come testo 880, per esempio), in quanto l’atmosfera in questa gamma di lunghezze d’onda è estremamente per-

meabile ai raggi infrarossi.

## **Rilevatore**

Il rilevatore riceve i raggi infrarossi e li converte in un segnale elettrico. Le dimensioni di un rilevatore sono specificate in pixel.

## **RTC (Reflected Temperature Compensation)**

Con i corpi reali si ha la riflessione di una parte della radiazione di calore. Questa temperatura riflessa deve essere tenuta in considerazione nella misura degli oggetti con una bassa emissività. La riflessione viene calcolata usando un fattore di compensazione nella termocamera e la precisione della misura della temperatura viene così migliorata. Ciò avviene generalmente per mezzo di un inserimento manuale nella termocamera e/o tramite software.

Nella maggior parte dei casi, la temperatura riflessa è identica alla temperatura ambiente. Se i raggi infrarossi da fonti d'interferenza sono riflessi sulla superficie dell'oggetto di misura, bisogna determinare la temperatura della radiazione riflessa (es. usando un termometro a bulbo o un radiatore di Lambert). La temperatura riflessa produce un effetto limitato sugli oggetti con un'emissività molto elevata.

## **T**

---

### **Taratura**

La procedura in cui sono determinate e confrontate le letture di uno strumento (valori effettivi) e le letture di uno strumento di riferimento (valori nominali). Il risultato fornisce indicazioni sul fatto

che i valori effettivi dello strumento rientrino ancora o meno in un limite/fascia di tolleranza ammissibile. A differenza di una regolazione, la deviazione identificata rispetto alla lettura effettiva è solo documentata in una taratura e non regolata sulla lettura nominale. Gli intervalli ai quali deve essere eseguita una taratura dipendono dai rispettivi requisiti e tipi di misura.

### **Temperatura**

Indicatore dell'energia intrinseca a un corpo.

### **Termocamera**

Una telecamera che misura i raggi infrarossi e converte i segnali in un'immagine termica. Usando la termocamera si possono mostrare distribuzioni della temperatura delle superfici che non sono visibili all'occhio umano. Applicazioni tipiche si trovano per esempio nella termografia edile e nella termografia elettrica e industriale.

### **Termografia**

Procedura di imaging basata su una tecnologia di misura che visualizza la radiazione di calore o le distribuzioni della temperatura delle superfici degli oggetti usando una termocamera.

### **Termogramma**

Cfr. "Immagine termica", p. 48.

## U

---

### **Umidità relativa (%UR)**

Indicatore in percentuale di quanto l'aria è satura di vapore acqueo. Per esempio, a 33% UR l'aria contiene solo circa 1/3 del volume massimo di vapore acqueo che può assorbire alla stessa temperatura e alla stessa pressione dell'aria. Con un'umidità dell'aria pari a 100% inizia a formarsi la condensa in quanto l'aria è completamente satura e non può più assorbire umidità. Il vapore acqueo gassoso nell'aria si trasforma perciò in liquido. Quanto più calda è l'aria, tanto più vapore acqueo è in grado di assorbire senza che si formi condensa. La condensa si forma quindi sempre anzitutto sulle superfici fredde.

## Z

---

### **Zero assoluto**

Lo zero assoluto è  $-273,15\text{ °C}$  ( $0\text{ Kelvin} = -459,69\text{ °F}$ ). Nessun corpo emette energia termica sotto lo zero assoluto; ciò significa che non emette raggi infrarossi.

### 3.2 Tabella dell'emissività

La tabella seguente serve da guida per regolare l'emissività per la misura degli infrarossi. Essa fornisce l'emissività  $\epsilon$  di alcuni dei materiali più comuni. Poiché l'emissività cambia con la temperatura e le proprietà superficiali, i valori qui mostrati devono essere intesi solo come un orientamento per la misura delle condizioni o delle differenze di temperatura. Per misurare il valore assoluto della temperatura, occorre determinare l'esatta emissività del materiale.

<b>Materiale (temperatura del materiale)</b>	<b>Emissività</b>
Alluminio, laminato lucido (170 °C)	0,04
Alluminio, non ossidato (25 °C)	0,02
Alluminio, non ossidato (100 °C)	0,03
Alluminio, molto ossidato (93 °C)	0,20
Alluminio, molto lucidato (100 °C)	0,09
Cotone (20 °C)	0,77
Cemento (25 °C)	0,93
Piombo, ruvido (40 °C)	0,43
Piombo, ossidato (40 °C)	0,43
Piombo, ossidato grigio (40 °C)	0,28
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo, lucidato (150 °C)	0,06
Ghiaccio, liscio (0 °C)	0,97
Ferro, smerigliato (20 °C)	0,24
Ferro con pelle del getto (100 °C)	0,80
Ferro con pelle di laminazione (20 °C)	0,77
Gesso (20 °C)	0,90
Vetro (90 °C)	0,94
Granito (20 °C)	0,45

<b>Materiale (temperatura del materiale)</b>	<b>Emissività</b>
Gomma, dura (23 °C)	0,94
Gomma, morbida, grigia (23 °C)	0,89
Ghisa, ossidata (200 °C)	0,64
Legno (70 °C)	0,94
Sughero (20 °C)	0,70
Corpo, nero, anodizzato (50 °C)	0,98
Rame, leggermente ossidato (20 °C)	0,04
Rame, ossidato (130 °C)	0,76
Rame, lucidato (40 °C)	0,03
Rame, laminato (40 °C)	0,64
Plastica: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Vernice, blu su foglio di alluminio (40 °C)	0,78
Vernice, nera, opaca (80 °C)	0,97
Vernice, gialla, 2 rivestimenti su foglio di alluminio (40 °C)	0,79
Vernice, bianca (90 °C)	0,95
Marmo, bianco (40 °C)	0,95
Mattoni (40 °C)	0,93
Ottone, ossidato (200 °C)	0,61
Vernici a olio (tutti i colori) (90 °C)	da 0,92 a 0,96
Carta (20 °C)	0,97
Porcellana (20 °C)	0,92
Arenaria (40 °C)	0,67
Acciaio, superficie trattata term. (200 °C)	0,52
Acciaio, ossidato (200 °C)	0,79
Acciaio, laminato a freddo (93 °C)	0,75 a 0,85
Argilla, bruciata (70 °C)	0,91
Vernice per trasformatori (70 °C)	0,94
Mattono, malta, intonaco (20 °C)	0,93
Zinco, ossidato	0,1

### **3.3 Testo raccomanda**

#### **Taratura della vostra termocamera**

Testo AG vi raccomanda di far tarare regolarmente la vostra termocamera. A quali intervalli deve essere eseguita la taratura dipende dai vostri requisiti e tipi di misura.

Potete trovare più informazioni sulla taratura della vostra termocamera alla pagina [www.testo.it](http://www.testo.it).

#### **Corsi di formazione sulla termografia**

Essere all'avanguardia nelle conoscenze: questo è uno dei requisiti più importanti per soddisfare le richieste di tipi di misura complessi e i crescenti requisiti della qualità. Ecco perché Testo AG offre corsi di formazione sulla termografia per un'ampia gamma di aree di applicazione.

Potete trovare maggiori informazioni sui corsi di formazione che offriamo alla pagina [www.testo.it](http://www.testo.it).

**Maggiori informazioni su:  
[www.testo.it/880](http://www.testo.it/880)**





## A proposito – lo sapevate?

Grazie alla loro abilità nel vedere le radiazioni di calore, i serpenti a sonagli percepiscono all'istante la presenza di prede e nemici, anche nell'oscurità.

Il serpente a sonagli, una sottospecie di vipera, è in grado di percepire anche le più piccole differenze di temperatura di soli  $0,0003\text{ }^{\circ}\text{C}$  molto rapidamente.

Ciò è reso possibile dalle "fossette recettive" altamente sensibili. Questo organo sensoriale permette ai serpenti a sonagli di vedere immagini che sono molto simili a quelle delle moderne termocamere...





Testo SpA  
Via F.lli Rosselli, 3/2  
20019 Settimo Milanese (MI)  
Tel: 02/33519.1  
Fax: 02/33519.200  
e-mail: [info@testo.it](mailto:info@testo.it)  
Per ulteriori informazioni, consultate il nostro sito  
[www.testo.it](http://www.testo.it)

Prezzo nominale Euro 5,00

0984 7323/sdv/R/01.2009