

Be sure. **testo**

# Pocket Guide di termografia

Teoria – pratica – consigli e trucchi

#### Diritto d'autore, garanzia e responsabilità

Le informazioni contenute nella seguente Pocket Guide sono protette dal diritto d'autore. Tutti i diritti sono esclusivamente di proprietà della Testo SE & Co. KGaA. In assenza di un'autorizzazione preliminare scritta della Testo SE & Co. KGaA, i contenuti e le immagini non possono essere riprodotti, modificati o utilizzati commercialmente per altri scopi dell'utente al di là di quelli specificati.

Anche se le informazioni contenute nella presente Pocket Guide sono state raccolte con la massima cura, esse vengono messe a disposizione in maniera non vincolante e Testo SE & Co. KGaA si riserva la facoltà di effettuare modifiche o integrazioni. Di conseguenza, Testo SE & Co. KGaA non si assume alcuna responsabilità o garanzia per l'esattezza o la completezza delle informazioni fornite. La responsabilità, per qualsiasi motivo giuridico, si limita ai danni causati in modo intenzionale, per colpa grave o per violazione colposa di obblighi contrattuali da parte di Testo SE & Co. KGaA, o dei relativi partner o commissionari. Nei casi di violazione colposa, la responsabilità di Testo SE & Co. KGaA si limita, a seconda dell'importo, ai danni tipici prevedibili che possano verificarsi in attività paragonabili di questo tipo. Rimangono invariate eventuali richieste di risarcimento danni per garanzia o ai sensi della legge tedesca vigente sulla responsabilità per danno da prodotti.

Testo SE & Co. KGaA, dicembre 2017

## Prefazione

Gentile cliente,

“Le immagini dicono più di mille parole”.

In tempi di continua crescita dei prezzi dell'energia e di elevati costi per il fermo macchina, la misurazione senza contatto della temperatura è una procedura ormai consolidata sia per la valutazione dell'efficienza dell'edificio che per la manutenzione industriale. Ciononostante, c'è termografia e termografia. Nella misurazione senza contatto della temperatura infatti, occorre rispettare alcune elementari regole basilari.

Il manuale “Pocket Guide di termografia” è nato dalla raccolta delle domande inviateci ogni giorno dai nostri clienti. Con numerose interessanti informazioni e trucchi e consigli pratici, questa Pocket Guide vuole essere un aiuto pratico e prezioso per supportarvi nel lavoro quotidiano.

Buona lettura!



Prof. Burkart Knospe, Presidente del consiglio d'amministrazione

# Indice

1	La termografia nella teoria	5
1.1	Emissione, riflessione, trasmissione	6
1.2	Spot di misurazione e distanza di misurazione	16
2	La termografia nella pratica	17
2.1	L'oggetto da misurare	17
2.2	Ambiente di misurazione	20
2.3	Rilevamento pratico di $\epsilon$ e di RTC	28
2.4	Fonti di errore nella misurazione a raggi infrarossi	34
2.5	Le migliori condizioni per la misurazione ad infrarossi	40
2.6	L'immagine termica perfetta	41
3	Appendice	43
3.1	Glossario di termografia	43
3.2	Tabella dell'emissività	51

# 1 La termografia nella teoria

Qualsiasi oggetto che possieda una temperatura al di sopra dello zero assoluto (0 Kelvin =  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emette raggi infrarossi, i quali non vengono percepiti dall'occhio umano.

Come hanno dimostrato già nel 1884 i fisici Josef Stefan e Ludwig Boltzmann, esiste una correlazione tra la temperatura di un corpo e l'intensità dei raggi infrarossi emessi. La termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga incidenti sul suo campo visivo. Sulla base dei raggi infrarossi acquisiti la termocamera calcola poi la temperatura dell'oggetto da misurare. Il calcolo viene effettuato tenendo conto dell'emissività ( $\epsilon$ ) della superficie dell'oggetto da misurare e della compensazione della temperatura di riflessione (RTC = Reflected Temperature Compensation), entrambe grandezze impostabili manualmente nella termocamera. Ciascun pixel del sensore rappresenta una soglia di temperatura riprodotta sul display come immagine a falsi colori (cfr. "1.2 Spot di misurazione e distanza di misurazione", pag. 13).

La termografia (misurazione della temperatura con una termocamera) è un procedimento di misurazione passivo e senza contatto. In questo procedimento, l'immagine termica indica la distribuzione della temperatura sulla superficie di un oggetto. Con una termocamera non è quindi possibile effettuare un'analisi all'interno o attraverso l'oggetto.

## 1.1 Emissione, riflessione, trasmissione

La radiazione acquisita dalla termocamera è composta dall'emissione, dalla riflessione e dalla trasmissione dei raggi infrarossi a onda lunga emessi dagli oggetti e rilevati all'interno del campo visivo della termocamera.

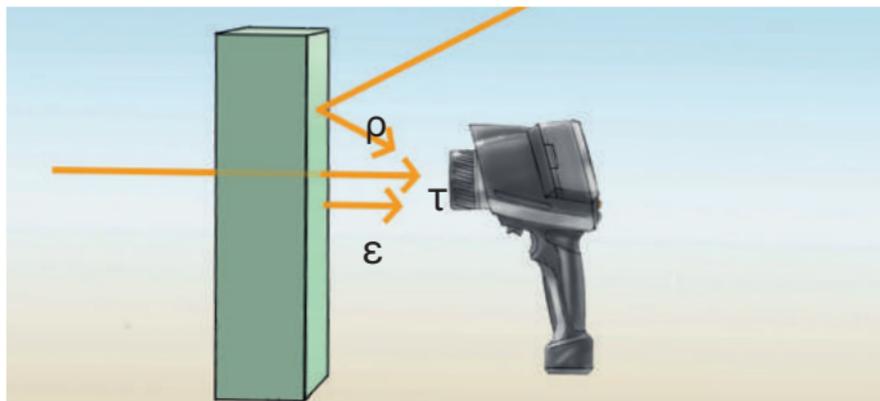
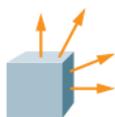


Figura 1.1: Emissione, riflessione e trasmissione



### L'emissività ( $\epsilon$ )

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

- $\epsilon$  dipende dalle caratteristiche di una superficie, dal materiale, e, per alcuni materiali, anche dalla temperatura dell'oggetto da misurare, come pure dal campo spettrale della termocamera utilizzata.

- Emissività massima:  $\varepsilon = 1$  ( $\cong 100\%$ ) (cfr. “Corpo nero”, pag. 40).  $\varepsilon = 1$  non si verifica mai nella realtà.
- Corpi reali:  $\varepsilon < 1$ , in quanto i corpi reali riflettono ed eventualmente trasmettono anche le radiazioni.
- Numerosi materiali non metallici (ad esempio il PVC, il calcestruzzo, sostanze organiche) possiedono un’emissività elevata nel campo dei raggi infrarossi a onda lunga che non dipende dalla temperatura ( $\varepsilon \approx 0,8 - 0,95$ ).
- I metalli, soprattutto quelli della superficie lucida, possiedono un’emissività bassa che oscilla con la temperatura.
- Il valore  $\varepsilon$  può essere impostato manualmente nella termocamera.



### **Il fattore di riflessione ( $\rho$ )**

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

- $\rho$  dipende dalle caratteristiche di una superficie, dalla temperatura e dal tipo di materiale.
- Di norma, le superfici lisce e lucide possiedono un fattore di riflessione maggiore rispetto alle superfici ruvide ed opache dello stesso materiale.
- La temperatura dei raggi riflessi può essere impostata manualmente nella termocamera (RTC).
- In numerose applicazioni di misurazione, l’RTC corrisponde alla temperatura ambiente (soprattutto nella termografia effettuata dall’interno). La temperatura ambiente può essere rilevata per lo più ad esempio con il termometro per misurare la temperatura dell’aria testo 810.

- L'RTC può essere rilevata con l'ausilio di un radiatore di Lambert (cfr. "Misurazione della temperatura riflessa mediante radiatore di Lambert (improvvisato)", pag. 27).
- L'angolo di riflessione dei raggi infrarossi riflessi è sempre uguale all'angolo di incidenza (cfr. "Riflessione speculare", pag. 31).



### **Il fattore di trasmissione ( $\tau$ )**

Il fattore di trasmissione ( $\tau$ ) è la misura della facoltà di un materiale di trasmettere (far passare) i raggi infrarossi.

- $\tau$  dipende dal tipo e dallo spessore del materiale.
- La maggior parte dei materiali non è trasmissiva, non fa passare cioè i raggi infrarossi a onda lunga.

### **Legge di conservazione dell'energia della radiazione secondo le regole di Kirchhoff**

I raggi infrarossi rilevati dalla termocamera sono composti dai seguenti elementi:

- la radiazione emessa dall'oggetto da misurare,
- la riflessione della radiazione ambiente, e
- la trasmissione della radiazione attraverso l'oggetto da misurare. (cfr. Fig. 1.1, pag. 36)

La somma di questi elementi è sempre uguale a 1 ( $\cong 100\%$ ):

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

Poiché la trasmissione raramente incide nella pratica, la trasmissione  $\tau$  decade, e la formula

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

si semplifica in

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

Per la termografia, ciò significa che:

minore è l'emissività,

- maggiore sarà la percentuale dei raggi infrarossi riflessi,
- più difficoltoso sarà effettuare una misurazione precisa della temperatura, e
- più importante sarà impostare correttamente la compensazione della temperatura riflessa (RTC).

### **Correlazione tra emissione e riflessione**

1. Gli oggetti da misurare che hanno un'elevata emissività ( $\epsilon \geq 0,8$ ):

- possiedono un basso fattore di riflessione ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- la loro temperatura può essere misurata ottimamente con la termocamera

2. Gli oggetti da misurare che hanno un'emissività media ( $0,6 < \epsilon < 0,8$ ):

- possiedono un fattore di riflessione medio ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- la loro temperatura può essere ben misurata con la termocamera

3. Gli oggetti da misurare che hanno un'emissività bassa ( $\epsilon \leq 0,6$ ):

- possiedono un fattore di riflessione elevato ( $\rho$ ):  $\rho = 1 - \epsilon$
- la loro temperatura può essere misurata con la termocamera, tuttavia sarà necessario analizzare criticamente i risultati
- è indispensabile impostare correttamente la compensazione della temperatura riflessa, in quanto questa incide fortemente sul calcolo della temperatura

In particolare per grandi differenze di temperatura tra l'oggetto da misurare e l'ambiente di misurazione, la corretta impostazione dell'emissività è un fattore decisivo.

1. Per oggetti da misurare con temperatura al di sopra della temperatura ambiente (cfr. il riscaldamento nella Fig. 1.2, 11):
  - con un'emissività impostata troppo alta viene visualizzata una temperatura troppo bassa (cfr. camera 2)
  - con un'emissività impostata troppo bassa viene visualizzata una temperatura troppo alta (cfr. camera 1)
2. Per oggetti da misurare con temperatura al di sotto della temperatura ambiente (cfr. la porta nella Fig. 1.2, pag.11):
  - con un'emissività impostata troppo alta viene visualizzata una temperatura troppo alta (cfr. camera 2)
  - con un'emissività impostata troppo bassa viene visualizzata una temperatura troppo bassa (cfr. camera 1)

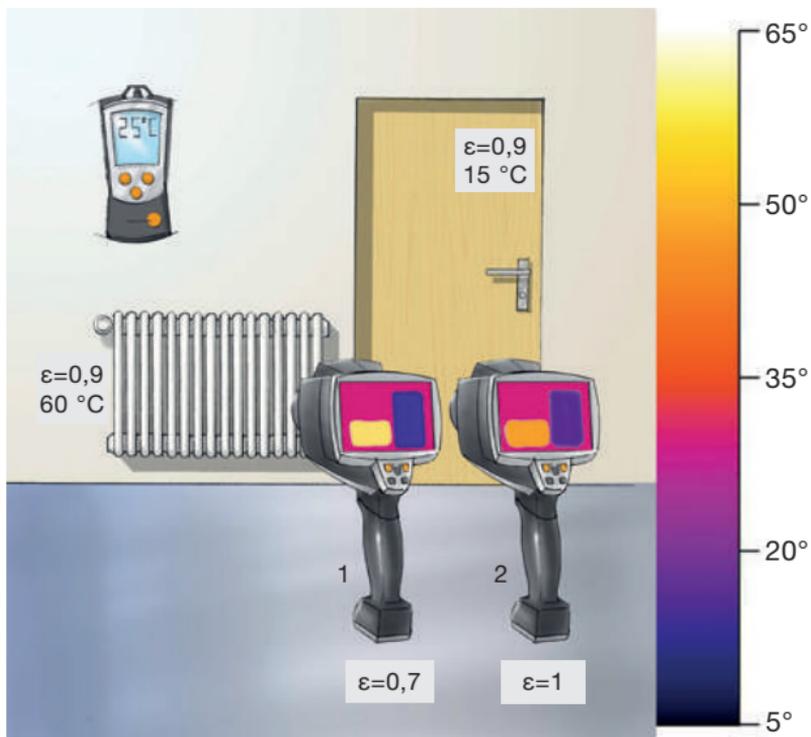


Figura 1.2: Effetti di un'errata impostazione dell'emissività sulla misurazione della temperatura

### Importante:

Maggiore è la differenza tra la temperatura dell'oggetto da misurare e la temperatura ambiente, minore sarà l'emissività, maggiori saranno gli errori di misurazione. Questi errori si intensificano se l'emissività è stata impostata erroneamente.

**Importante:**

- Con una termocamera è possibile misurare sempre e solo le temperature delle superfici, non però attraversare l'interno dell'oggetto o vedere attraverso l'oggetto stesso.
- Molti materiali permeabili all'occhio umano, come ad es. il vetro, non sono trasmissivi (permeabili) ai raggi infrarossi a onda lunga (cfr. "Misurazioni sul vetro", pag. 30).
- Se necessario, allontanare eventuali coperture dall'oggetto da misurare, in caso contrario la termocamera misurerà solamente la temperatura superficiale della copertura.

**Attenzione:** rispettare sempre le condizioni di impiego dell'oggetto da misurare!

- Tra i materiali meno trasmissivi si possono citare ad es. le sottili pellicole in plastica e il germanio, il materiale con cui si producono le lenti e le lenti di protezione delle termocamere Testo.
- Se gli elementi sottostanti alla superficie influenzano la distribuzione della temperatura sulla superficie dell'oggetto da misurare per conduzione, spesso si possono riconoscere sull'immagine termica le caratteristiche della struttura interna dell'oggetto da misurare. Ciononostante la termocamera misurerà sempre e solo la temperatura superficiale. Non è possibile fare affermazioni precise sui valori di temperatura degli elementi all'interno dell'oggetto da misurare.

## 1.2 Spot di misurazione e distanza di misurazione

Per determinare la distanza di misurazione adatta e le dimensioni massime visibili e misurabili dell'oggetto da misurare, occorre tener conto di tre grandezze:

- il campo visivo (FOV),
- la minima dimensione misurabile ( $IFOV_{geo}$ ), e
- la minima area di misurazione ( $IFOV_{meas}$ ).

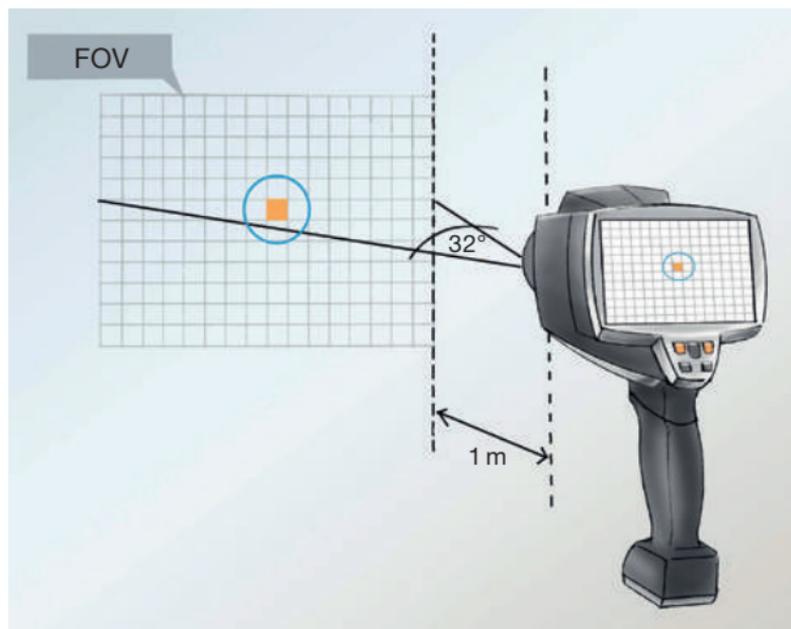


Figura 1.3: campo visivo della termocamera

Il campo visivo (FOV) della termocamera descrive la superficie visibile con la termocamera stessa (cfr. Fig. 1.3, pag. 13). Esso dipende dall'obiettivo utilizzato (ad es. un obiettivo grandangolare da 32° o un teleobiettivo da 9° – questo teleobiettivo è disponibile come accessorio per i modelli testo 875i, testo 885 e testo 890).

**Importante:**

Per ottenere un grande campo visivo, utilizzare un obiettivo grandangolare.

Inoltre, è necessario conoscere i dati relativi alla minima dimensione misurabile (IFOV<sub>geo</sub>) dalla propria termocamera. Questi descrivono le dimensioni di un pixel in funzione della distanza. Per una risoluzione spaziale dell'obiettivo di 3,5 mrad, ed una

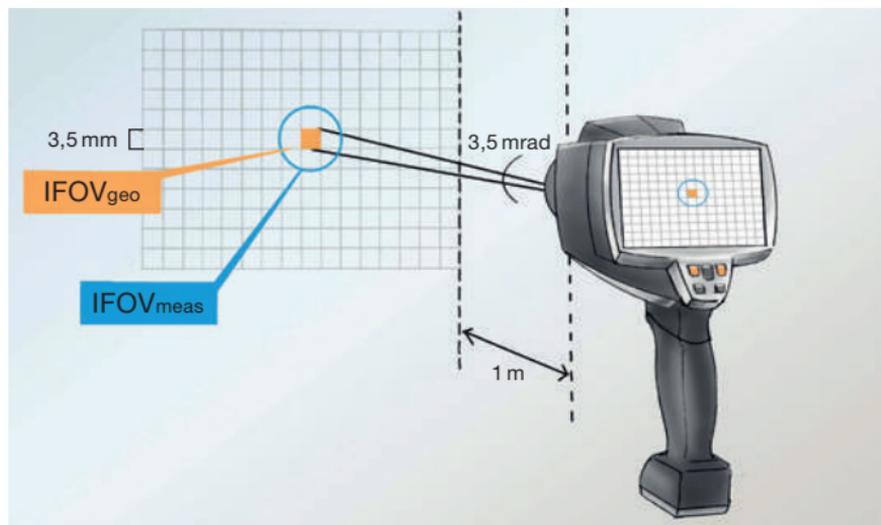


Figura 1.4: campo visivo di un singolo pixel

distanza di misurazione di 1 metro, la minima dimensione misurabile ( $IFOV_{geo}$ ) possiede uno spigolo della lunghezza di 3,5 mm, e viene visualizzato come pixel sul display (cfr. Fig. 1.4, pag. 14). Per poter effettuare una misurazione esatta, l'oggetto da misurare deve essere 3 volte più grande della minima dimensione misurabile ( $IFOV_{geo}$ ).

Per la minima area di misurazione ( $IFOV_{meas}$ ) vale quindi la seguente regola empirica:

$$IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$$

**Importante:**

- Per una buona risoluzione spaziale utilizzare un teleobiettivo.
- Con il calcolatore dell'IFOV della testo Thermography App è possibile calcolare i valori di FOV,  $IFOV_{meas}$  ed  $IFOV_{geo}$  per diverse distanze.

## 2 La termografia nella pratica

### 2.1 L'oggetto da misurare



#### 1. Materiali ed emissività

La superficie di ciascun materiale possiede una specifica emissività dalla quale si deduce l'entità della riflessione e dell'emissione dei raggi infrarossi

- emessi dal
- materiale (irradiati dall'oggetto stesso).



#### 2. Colore

Nella misurazione della temperatura con una termocamera, il colore di un materiale non influisce in misura degna di nota sull'emissione dei raggi infrarossi da parte dell'oggetto da misurare. Le superfici scure assorbono una quantità maggiore di raggi infrarossi a onda corta rispetto alle superfici chiare, e si riscaldano quindi più rapidamente. I raggi infrarossi emessi dipendono tuttavia dalla temperatura, e non dal colore della superficie dell'oggetto da misurare. Ad esempio, un radiatore verniciato di nero emette la stessa quantità di raggi infrarossi a onda lunga di un radiatore bianco con la stessa temperatura.



#### 3. Superficie dell'oggetto da misurare

Le caratteristiche della superficie dell'oggetto da misurare sono decisive per la misurazione della temperatura con una termocamera. A seconda della struttura superficiale, del grado di sporcizia o del rivestimento infatti, si modifica l'emissività della superficie stessa.

### **Struttura della superficie**

Le superfici lisce, brillanti, a specchio e/o lucidate hanno di norma un'emissività leggermente minore delle superfici opache, strutturate, ruvide, disgregate e/o graffiate dello stesso materiale. Nelle superfici molto lisce si verificano spesso riflessioni speculari (cfr. 31).

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

Acqua, neve e brina possiedono un'emissività relativamente elevata (ca.  $0,85 < \epsilon < 0,96$ ), per questo motivo la misurazione di queste sostanze non presenta in genere problemi. Ciononostante occorre tener conto del fatto che la temperatura dell'oggetto da misurare può risultare falsata da tali stratificazioni naturali. Durante l'evaporazione infatti, l'umidità raffredda la superficie dell'oggetto da misurare, e la neve possiede buone proprietà isolanti. La brina non forma per lo più superfici chiuse, per questo motivo durante la misurazione occorre tener conto sia dell'emissività della brina che della superficie sottostante.

### **Sporcizia e corpi estranei sulla superficie**

La sporcizia sulla superficie dell'oggetto da misurare, come ad esempio la polvere, la fuliggine o l'olio lubrificante, aumentano di norma l'emissività della superficie. Per questo motivo la misurazione di oggetti sporchi non costituisce in genere un problema. La termocamera misura tuttavia sempre la temperatura della superficie, e quindi quella della sporcizia, e non la temperatura esatta della superficie sottostante dell'oggetto da misurare.

### **Importante:**

- L'emissività di un materiale dipende fortemente dalla struttura della superficie del materiale stesso.
- Rispettare l'impostazione corretta dell'emissività a seconda del rivestimento presente sulla superficie dell'oggetto da misurare.
- Evitare di misurare superfici umide, coperte di neve o brina.
- Evitare di misurare la sporcizia soprastante (alterazione della temperatura dovuta alle inclusioni d'aria).
- Prestare particolare attenzione, durante la misurazione di superfici lisce, alle possibili fonti di radiazione nell'ambiente (ad es. sole, riscaldamento, ecc.).

## 2.2 Ambiente di misurazione



### **1. Temperatura ambiente**

Perché la termocamera possa misurare correttamente la temperatura della superficie dell'oggetto da misurare, oltre all'impostazione dell'emissività ( $\epsilon$ ) si dovrà tener conto anche dell'impostazione della temperatura riflessa (RTC). In numerose applicazioni di misurazione, la temperatura riflessa corrisponde alla temperatura ambiente (cfr. "2. Irraggiamento", pag. 19). Questa può essere rilevata con un apposito termometro, ad esempio il testo 810. In particolare in caso di grandi differenze di temperatura tra l'oggetto da misurare e l'ambiente di misurazione, è importante impostare con precisione l'emissività (cfr. Fig. 1.2, pag. 11).



## 2. Irraggiamento

Qualsiasi oggetto che possieda una temperatura superiore allo zero assoluto ( $0 \text{ Kelvin} = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ ) emette raggi infrarossi. Soprattutto gli oggetti che possiedono una grande differenza di temperatura rispetto all'oggetto da misurare, possono interferire nella misurazione a raggi infrarossi a causa della propria radiazione. Si dovranno quindi se possibile evitare o disattivare tali fonti di interferenza. Con la schermatura delle fonti di interferenza (ad esempio con un telo o un cartone) si riduce la loro influenza negativa sulla misurazione. Se non è possibile eliminare l'influenza della fonte di interferenza, la temperatura riflessa non corrisponde alla temperatura ambiente.

Per misurare la radiazione riflessa si consiglia di utilizzare ad esempio un radiatore di Lambert insieme alla termocamera (cfr. "Rilevamento della temperatura della radiazione riflessa", pag. 27).

### **Particolarità della termografia effettuata dall'esterno**

La radiazione infrarossa che proviene da un cielo terso viene definita correntemente "radiazione fredda proveniente dalla volta celeste". Se il cielo è terso, di giorno la "radiazione fredda proveniente dalla volta celeste" ( $\sim -50 \dots -60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e l'irraggiamento solare caldo ( $\sim 5500 \text{ }^\circ\text{C}$ ) vengono riflessi. La superficie del cielo supera quella del sole, per cui la temperatura riflessa in una termografia effettuata dall'esterno è pari per lo più a un valore inferiore agli  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ , anche in una giornata di sole. A causa dell'assorbimento dell'irraggiamento solare, gli oggetti esposti al sole si riscaldano. Ciò influisce notevolmente sulla temperatura superficiale – in parte anche diverse ore dopo l'irraggiamento solare.

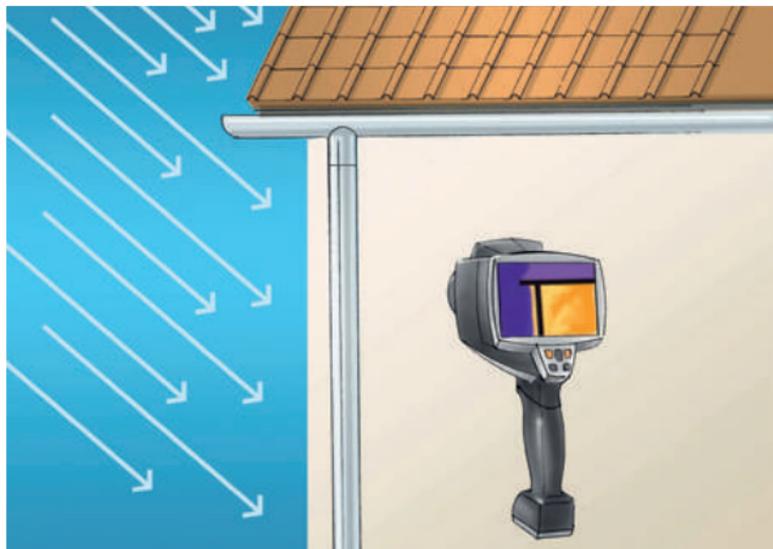


Figura 2.1: riflessione durante le misurazioni all'aperto

Nella Figura 2.1 si vede che nell'immagine termica la grondaia è più fredda della parete della casa, anche se entrambe hanno approssimativamente la stessa temperatura. L'immagine deve quindi essere interpretata.

Supponiamo che la superficie della grondaia sia zincata, e che abbia una emissività molto bassa ( $\epsilon = 0,1$ ). Solo il 10% dei raggi infrarossi a onda lunga emessi dalla grondaia sono quindi radiazioni proprie emesse, mentre il 90% è costituito da radiazione ambiente riflessa (RTC). Se il cielo è terso, la "radiazione fredda proveniente dalla volta celeste" ( $\sim -50 \dots -60 \text{ }^\circ\text{C}$ ) si riflette tra l'altro anche sulla grondaia. Per poter misurare correttamente la parete della casa, la termocamera è impostata su  $\epsilon = 0,95$  e su  $\text{RTC} = -55 \text{ }^\circ\text{C}$ . A causa dell'emissività molto bassa e della riflessione molto alta, la grondaia viene illustrata sulla immagine ter-

mica come troppo fredda. Per poter visualizzare correttamente le temperature dei due materiali sull'immagine termica, è possibile modificare successivamente l'emissività di determinate zone con un software di analisi (ad es. IRSoft o testo Thermography App). Per rilevare il valore corretto della RTC si consiglia un radiatore di Lambert (cfr. "2.3 Rilevamento pratico di  $\epsilon$  e di RTC", pag. 25).

### **Importante:**

- Non sottovalutare l'influenza dei raggi infrarossi emessi dall'utente.
- Cambiare la propria posizione durante la misurazione per riconoscere eventuali riflessioni. Le riflessioni si spostano, mentre le particolarità dal punto di vista termico rimangono nello stesso punto, anche se si cambia l'angolo visuale.
- Evitare di misurare nei pressi di oggetti molto freddi o molto caldi, eventualmente schermarli.
- Evitare l'irraggiamento solare diretto, anche alcune ore prima di effettuare la misurazione. Effettuare la misurazione nelle prime ore del mattino.
- Effettuare le misurazioni all'aperto possibilmente con un cielo molto nuvoloso.



## **3. Condizioni atmosferiche**

### **Nuvolosità**

Per la misurazione degli infrarossi all'aperto, un cielo molto nuvoloso fornisce le condizioni ideali, in quanto questo schermo l'oggetto da misurare dall'irraggiamento solare e dalla "radiazione fredda proveniente dalla volta celeste" per (cfr. "2. Irraggiamento", pag. 19).

## Precipitazioni

Precipitazioni forti (pioggia, neve) possono falsare il risultato della misurazione. Acqua, ghiaccio e neve possiedono un'elevata emissività, e sono impermeabili ai raggi infrarossi. Inoltre se si misurano oggetti umidi si possono ottenere valori errati, in quanto la loro superficie si raffredda durante l'evaporazione (cfr. "3. Superficie dell'oggetto da misurare", pag. 16).

## Sole

(cfr. "2. Irraggiamento", pag. 19)

### **Importante:**

- Effettuare le misurazioni preferibilmente con un cielo molto nuvoloso.
- Tener presente anche la nuvolosità alcune ore prima di effettuare la misurazione.
- Evitare di effettuare le misurazioni con forti precipitazioni.



## **4. Aria**

### **Umidità dell'aria**

L'umidità relativa nell'ambiente di misurazione dovrà essere sufficientemente bassa in modo da non provocare la formazione di condensa dell'aria (nebbia), sull'oggetto da misurare, sulla lente di protezione e sulla lente della termocamera. Se la lente (o la lente di protezione) è danneggiata, una parte dei raggi infrarossi incidenti sulla termocamera non viene acquisita, poiché la radiazione non giunge completamente sulla lente per effetto dell'acqua.

Una nebbia molto fitta può influire sulla misurazione, in quanto le goccioline d'acqua presenti nel percorso di trasmissione interessato sono poco permeabili ai raggi infrarossi.

### **Correnti d'aria**

Il vento, oppure la corrente d'aria all'interno di un locale possono influire sulla misurazione della temperatura con la termocamera. Per effetto dello scambio di calore (convezione), l'aria vicina alla superficie possiede la stessa temperatura dell'oggetto da misurare. In presenza di vento o di correnti d'aria, questo strato d'aria viene "soffiato via", e al suo posto si forma un nuovo strato, non adattato alla temperatura dell'oggetto da misurare. La convezione sottrae calore all'oggetto da misurare caldo, oppure apporta calore all'oggetto da misurare freddo, fino a che la temperatura dell'aria e quella della superficie dell'oggetto da misurare non si compensano. Questo effetto di scambio termico aumenta all'aumentare della differenza di temperatura tra la superficie dell'oggetto da misurare e la temperatura ambiente.

### **Inquinamento atmosferico**

Alcune sostanze in sospensione, come ad esempio la polvere, la fuliggine, il fumo, come pure alcuni vapori possiedono un'elevata emissività ed una trasmissività pressoché assente. Ciò significa che queste sostanze possono pregiudicare la misurazione poiché emettono esse stesse raggi infrarossi, che vengono rilevati dalla termocamera. Inoltre i raggi infrarossi dell'oggetto da misurare possono arrivare soltanto in parte alla termocamera, in quanto questi vengono dispersi e assorbiti dalle sostanze in sospensione.

### **Importante:**

- Non effettuare misurazioni in condizioni di nebbia fitta o in presenza di vapore acqueo.
- Non effettuare misurazioni in presenza di condensa dell'umidità dell'aria sulla termocamera (cfr. "Umidità, neve e brina sulla superficie", pag. 17).
- Evitare se possibile di effettuare misurazioni in presenza di vento e di altre correnti d'aria.
- Tener presente la velocità e la direzione delle correnti d'aria durante la misurazione e considerare questi dati nell'analisi delle immagini termiche.
- Non effettuare misurazioni in presenza di forte inquinamento atmosferico (ad es. in presenza di mulinelli di polvere).
- Effettuare le misurazioni sempre con la minima distanza possibile per la relativa applicazione, per ridurre al minimo l'influenza di eventuali sostanze in sospensione presenti nell'aria.



### **5. Luce**

La luce o l'illuminazione non hanno un ruolo degno di nota nella misurazione con la termocamera. La misurazione può essere effettuata anche al buio, in quanto la termocamera misura i raggi infrarossi a onda lunga. Alcune sorgenti luminose emettono tuttavia esse stesse radiazioni termiche infrarosse, e possono quindi influire sulla temperatura degli oggetti nel loro ambiente. Per questo motivo la misurazione non deve essere effettuata ad es. in condizioni di irraggiamento solare diretto o nei pressi di una lampadina accesa. Le sorgenti luminose fredde, come ad es. i LED o le luci al neon, non hanno un comportamento critico, in quanto queste convertono gran parte dell'energia utilizzata nello spettro della luce visibile e non in quello dei raggi infrarossi.

## 2.3 Rilevamento pratico di $\epsilon$ e di RTC

Per determinare l'emissività della superficie dell'oggetto da misurare, si può ad esempio:

- leggere il valore di emissività in una tabella (cfr. “3.2 Tabella dell'emissività”, pag. 51).  
**Attenzione:** i valori contenuti nelle tabelle di emissività sono sempre e solo valori indicativi. L'emissività della superficie dell'oggetto da misurare può quindi divergere dal valore indicativo riportato.
- Rilevare l'emissività con una misurazione comparativa con un termometro a contatto (ad es. testo 905-T2 o testo 925) (cfr. “1. Metodo con termometro a contatto”, pag. 25).
- Rilevare l'emissività con una misurazione comparativa mediante termocamera (cfr. “2. Metodo con la termocamera”, pag. 26).

### Rilevamento dell'emissività con una misurazione comparativa

#### **1. Metodo con termometro a contatto**

Misurare dapprima la temperatura della superficie dell'oggetto da misurare con un termometro a contatto (ad es. testo 905-T2 o testo 925). Misurare ora la temperatura della superficie dell'oggetto da misurare con la termocamera ad un'emissività preimpostata di uno. Se il valore impostato per l'emissività è troppo elevato, risulta una differenza tra i valori di temperatura misurati dal termometro a contatto e dalla termocamera. Riducendo gradualmente l'impostazione dell'emissività è possibile modificare la temperatura rilevata finché non coincide con il valore della misurazione a contatto. L'emissività impostata alla fine di questo processo corrisponde all'emissività della superficie dell'oggetto da misurare.

## 2. Metodo con la termocamera

Incollare dapprima un pezzo di nastro adesivo emissivo (ad es. il nastro adesivo emissivo resistente al calore di Testo) sull'oggetto da misurare. Dopo un breve tempo di attesa si potrà misurare la temperatura della superficie dell'oggetto da misurare sulla zona del nastro adesivo con la termocamera impostando il valore dell'emissività in modo che sia pari a quello del nastro adesivo. Questa temperatura è la temperatura di riferimento. Regolare ora l'impostazione dell'emissività finché la termocamera non rileva sulla zona della superficie dell'oggetto da misurare senza l'adesivo la stessa temperatura di quella di riferimento appena misurata. L'emissività ora impostata corrisponde all'emissività della superficie dell'oggetto da misurare. In alternativa al nastro adesivo emissivo è anche possibile procedere come segue:

- applicare sull'oggetto da misurare una vernice o un colore dall'emissività conosciuta.
- applicare sull'oggetto da misurare uno strato spesso ( $> 0,13$  mm) di olio resistente al calore ( $\epsilon \approx 0,82$ ).
- applicare sull'oggetto da misurare uno strato spesso di fuliggine ( $\epsilon \approx 0,95$ ).
- determinare l'emissività e il valore della RTC con la funzione  $\epsilon$ -Assist (testo 868, testo 871, testo 872).

### **Importante:**

- Attenzione: attenersi sempre alle prescrizioni di impiego dell'oggetto da misurare!
- Se gli oggetti da misurare vengono verniciati o incollati, tener presente che per consentire una misurazione corretta è necessario che la vernice o il nastro adesivo si adeguino dapprima alla temperatura dell'oggetto.

## Rilevamento della temperatura della radiazione riflessa

Se sono state eliminate tutte le possibili fonti di interferenza che potrebbero influenzare la misurazione, la temperatura dei raggi infrarossi riflessi è uguale alla temperatura ambiente. È possibile rilevare la temperatura ambiente con un termometro per misurare la temperatura dell'aria, ad es. testo 810, e di conseguenza inserire la RTC nella termocamera. Se ciononostante sono presenti fonti di raggi infrarossi nell'ambiente di misurazione, per ottenere un risultato della misurazione preciso si dovrà rilevare la temperatura della radiazione riflessa.

### **Misurazione della temperatura riflessa mediante radiatore di Lambert (improvvisato)**

Il radiatore di Lambert è un oggetto che riflette la radiazione incidente con una diffusione ottimale, quindi in tutte le direzioni.

Sul radiatore di Lambert è possibile misurare con la termocamera la temperatura della radiazione riflessa. Come sostituto del radiatore di Lambert si presta bene a tale scopo un foglio di alluminio spiegazzato e nuovamente liscio. Il foglio possiede un elevato fattore di riflessione, e grazie alla sua struttura dovuta alla spiegazzatura la radiazione viene riflessa con una diffusione ottimale (cfr. Fig. 2.3, lato destro del foglio di alluminio, pag. 32).

Per misurare la temperatura della radiazione riflessa, porre il radiatore di Lambert nei pressi dell'oggetto da misurare, oppure ancora meglio sulla sua superficie. Misurare poi su di esso la temperatura impostando l'emissività su uno. La camera calcola ora la temperatura della radiazione incidente. Questo valore può ora essere inserito come RTC nella termocamera, e con l'emissività impostata per la superficie dell'oggetto da misurare, si può misurare la temperatura dell'oggetto stesso.

## 2.4 Fonti di errore nella misurazione a raggi infrarossi

I seguenti fattori possono falsare il risultato della misurazione a raggi infrarossi:

- Emissività impostata erroneamente
  - Rilevare e impostare correttamente l'emissività (cfr. "Rilevamento dell'emissività con una misurazione comparativa", pag. 25).
- RTC impostata erroneamente
  - Rilevare e impostare correttamente la temperatura riflessa (cfr. "Rilevamento della temperatura della radiazione riflessa", pag. 27).
- Immagine termica non nitida
  - Mettere a fuoco l'immagine termica in loco, in quanto la nitidezza non può più essere modificata dopo la sua effettuazione.
- Distanza di misurazione troppo grande o troppo piccola
- Misurazione con un obiettivo non idoneo
- Spot di misurazione troppo grande
  - Durante la misurazione prestare attenzione alla distanza minima di messa a fuoco della termocamera.
  - Scegliere tra teleobiettivo e obiettivo grandangolare in modo appropriato, proprio come per la fotografia.
  - Scegliere se possibile una distanza di misurazione piccola.
- Disturbi nel percorso di trasmissione (ad es. inquinamento atmosferico, coperture, ecc.)
- Influenza di radiazioni provenienti da altre fonti (ad es. lampadine, sole, riscaldamento, ecc.)
- Interpretazione errata dell'immagine termica per effetto della riflessione

- Evitare di effettuare misurazioni sotto l'influsso di fonti di interferenza.
- Disattivare e schermare se possibile le fonti di interferenza, oppure tener conto della loro influenza durante l'analisi dell'immagine termica.
- Rapido cambiamento della temperatura ambiente
  - Se la temperatura ambiente passa da ridotta a elevata sussiste il pericolo di formazione di condensa sull'obiettivo.
  - Utilizzare se possibile termocamere con sensori stabili alla temperatura.
- Interpretazione errata dell'immagine termica per la mancata conoscenza della struttura dell'oggetto da misurare
  - Il tipo e la struttura dell'oggetto da misurare dovrebbero essere noti.
  - Per l'interpretazione delle immagini termiche, coinvolgere se possibile anche le immagini reali (foto).

## Misurazioni sul vetro

L'occhio umano può vedere attraverso il vetro, questo è però impermeabile ai raggi infrarossi. La termocamera misura quindi solamente la temperatura superficiale del vetro, non però la temperatura dei materiali retrostanti (cfr. Fig. 2.2). Il vetro è tuttavia trasmissivo per la radiazione a onda corta, come ad esempio l'irraggiamento solare. Per questo motivo si dovrà anche prestare attenzione al fatto che ad esempio la luce solare che attraversa la finestra potrebbe riscaldare l'oggetto da misurare.

Il vetro è un materiale speculare. Prestare quindi attenzione alla riflessione speculare del vetro durante la misurazione (cfr. "Riflessione speculare", pag. 31).

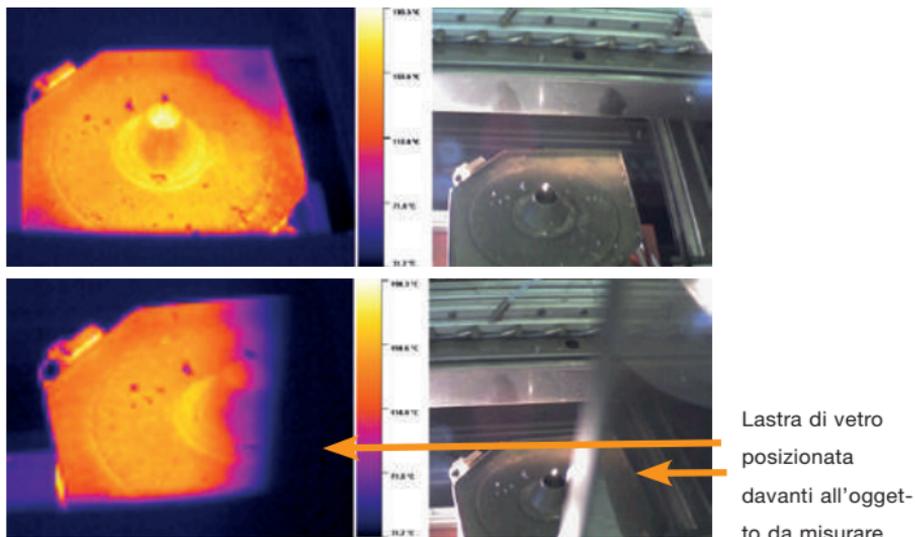


Figura 2.2: misurazione effettuata sul vetro

## **Misurazioni sul metallo**

I metalli, in particolare quelli dalla superficie brillante, riflettono fortemente i raggi infrarossi a onda lunga. Essi possiedono un'emissività molto bassa, che a elevate temperature può dipendere dalla temperatura stessa. Per questo motivo la misurazione della temperatura dei metalli con una termocamera può risultare problematica. Oltre alla regolazione dell'emissività, è particolarmente importante impostare correttamente anche la temperatura riflessa (cfr. "Rilevamento della temperatura della radiazione riflessa", pag. 27). Prestare attenzione in questo caso anche alle avvertenze sulla riflessione speculare (cfr. "Riflessione speculare", pag. 31). Nei metalli verniciati la misurazione non presenta problemi, in quanto le vernici possiedono di norma un'elevata emissività. Ciononostante si dovrà badare anche in questo caso alle riflessioni della radiazione ambiente.

## **Riflessione speculare**

Spesso una riflessione speculare notevolmente visibile indica la presenza di una superficie fortemente riflettente, quindi una superficie con bassa emissività. Ciononostante, fortemente speculare nello spettro visibile all'occhio umano non sempre significa fortemente riflessa anche nello spettro infrarosso. Si possono vedere ad esempio riflessi speculari della radiazione ambiente nell'immagine termica di una superficie verniciata (ad es. la silhouette della persona che esegue la misurazione), anche se la vernice possiede di norma un'elevata emissività ( $\epsilon \approx 0,95$ ). Allo stesso modo non si riconosce, ad esempio sulla immagine termica di un muro in arenaria, il profilo degli oggetti riflessi all'interno dell'ambiente di misurazione, anche se l'arenaria possiede una bassa emissività ( $\epsilon \approx 0,67$ ). La riflessione speculare della radiazione ambiente in contorni riconoscibili non dipende principalmente dall'emissività, bensì dalla struttura della superficie.

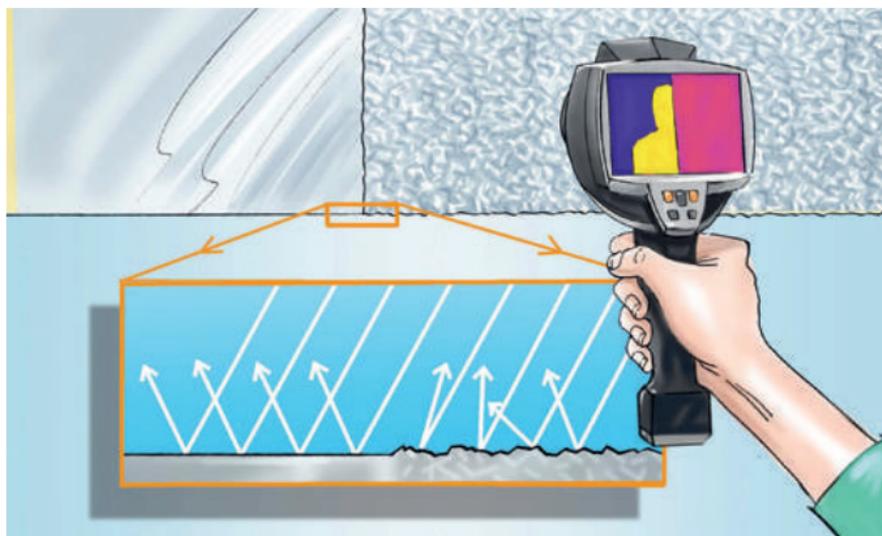


Figura 2.3: riflessione speculare e riflessione diffusa

Ciascuna radiazione viene sempre riflessa con lo stesso angolo con cui colpisce la superficie. Ciò significa che vale sempre la seguente regola empirica: Angolo di incidenza = angolo di riflessione. Ciò si vede chiaramente nella figura 2.3, nella sezione ingrandita della metà liscia del foglio di alluminio (lato sinistro). Qui i raggi infrarossi della persona che esegue la misurazione vengono riflessi nella stessa forma in cui colpiscono la persona (riflessione speculare).

La regola angolo di incidenza = angolo di riflessione vale naturalmente anche per i raggi infrarossi che colpiscono il foglio di alluminio spiegazzato (lato destro). In questo caso però i raggi infrarossi non colpiscono una superficie piana, bensì tante superfici parziali dalla diversa inclinazione. Per questo motivo i raggi vengono riflessi in direzioni diverse proprio come in un radiatore di Lambert. Questa riflessione diffusa fa sì che non si riconoscano i contorni delle fonti dei raggi infrarossi riflessi. La riflessione sul lato spiegazzato del foglio di alluminio rappresenta su ciascun punto un mix dei raggi infrarossi delle due fonti di radiazione riflessa (persona che esegue la misurazione e sfondo della persona stessa).

**Importante:**

- Fortemente speculare nello spettro visibile non sempre significa anche fortemente riflettente nello spettro infrarosso.
- Tener sempre presente l'influenza dei raggi infrarossi emessi dall'utente.
- Anche le superfici in cui non si individuano riflessioni speculari possono possedere un elevato grado di riflessione.
- Misurare le superfici lisce da diverse angolazioni e direzioni in modo da comprendere quali possano essere attribuite alle irregolarità di distribuzione della temperatura per riflessione, e quali all'oggetto da misurare.

## 2.5 Le migliori condizioni per la misurazione ad infrarossi

Nella misurazione ad infrarossi sono importanti soprattutto condizioni ambientali stabili. Ciò significa che il clima, gli oggetti nell'ambiente di misurazione ed eventuali altri fattori di influenza non dovranno modificarsi durante la misurazione. Solo così sarà possibile stimare le possibili fonti di interferenza e documentarle per la successiva analisi.

Nella misurazione all'aperto le condizioni atmosferiche dovranno essere stabili, e il cielo dovrà essere nuvoloso in modo da schermare l'oggetto da misurare sia dall'irraggiamento solare diretto che dalla "radiazione fredda proveniente dalla volta celeste". In questo caso si dovrà anche tener presente che la capacità di immagazzinare calore degli oggetti da misurare può far sì che questi siano ancora caldi a causa del precedente irraggiamento solare.

Le condizioni di misurazione ideali sono quindi:

- condizioni atmosferiche stabili
- cielo nuvoloso prima e durante la misurazione (nelle misurazioni all'aperto)
- assenza di irraggiamento solare diretto prima e durante la misurazione
- assenza di precipitazioni
- superficie dell'oggetto da misurare asciutta e liberamente accessibile dal punto di vista termico (ad es. assenza di foglie e di trucioli sulla superficie)
- assenza di vento o di correnti d'aria
- assenza di fonti di interferenza nell'ambiente di misurazione e del percorso di trasmissione

- un oggetto da misurare con una superficie dal valore di emissività elevato e conosciuto con precisione

Nella termografia edile si consiglia una differenza di almeno 10 °C tra la temperatura interna e quella esterna.

## 2.6 L'immagine termica perfetta

Nell'effettuazione di un'immagine termica si dovrà tener conto soprattutto di due cose:

- la scelta della giusta inquadratura, e
- la corretta messa a fuoco dell'immagine termica sulla zona rilevante dal punto di vista metrologico.

Dopo avere salvato l'immagine termica infatti, proprio come nelle normali foto digitali, non sarà più possibile modificare l'inquadratura né la nitidezza dell'immagine.

Per ottenere un'immagine termica perfetta, è possibile effettuare le seguenti modifiche sulla termocamera e nel software di analisi (ad es. testo IRSofT o testo Thermography App):

- modificare l'emissività e l'impostazione della compensazione della temperatura di riflessione (RTC). Ciò può essere effettuato, anche per punti e per zone, in un software professionale di analisi, come ad es. IRSofT di testo e testo Thermography App.
- Selezionare una tavola di colori idonea (ad es. ferro, arcobaleno, ecc.). A seconda della tavola dei colori si otterrà un'immagine termica ricca di contrasti e facilmente interpretabile.
- Adattare manualmente la scala di temperatura. In questo modo è possibile migliorare la graduazione della temperatura o del colore dell'immagine termica (cfr. Fig. 2.4).

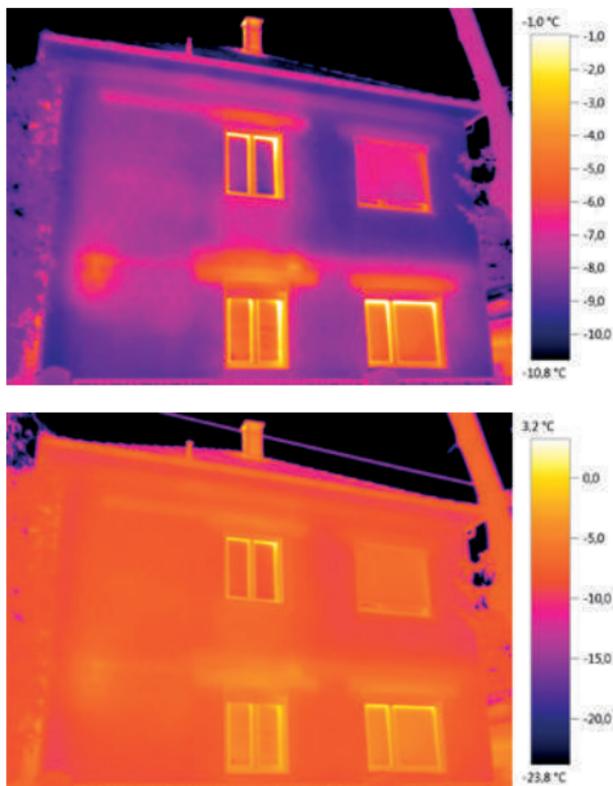


Figura 2.4: adattamento della scala di temperatura

Per l'effettuazione dell'immagine termica seguire i seguenti suggerimenti:

- tenere in considerazione, evitare o schermare eventuali fonti di interferenza.
- La superficie dell'oggetto da misurare dovrà essere accessibile dal punto di vista visivo e termico. Se possibile allontanare le coperture e gli oggetti di intralcio nelle vicinanze.

- Cambiare la propria posizione durante la misurazione per riconoscere eventuali riflessioni. Le riflessioni si spostano, mentre le particolarità dal punto di vista termico rimangono nello stesso punto, anche se si cambia l'angolo visuale.
- Lo spot di misurazione non dovrà mai essere più grande dell'oggetto da misurare.
- Tenere la distanza di misurazione quanto più ridotta possibile.
- Per la misurazione utilizzare un obiettivo idoneo.
- Per la misurazione esatta dei dettagli si consiglia di utilizzare un cavalletto.
- La struttura dell'oggetto da misurare dovrà essere nota per poter rilevare correttamente le particolarità dal punto di vista termico.
- Utilizzare una termocamera con camera digitale incorporata per poter utilizzare anche le immagini visive per l'analisi successiva.
- Rispettare tutte le condizioni ambientali. Misurarle e documentarle eventualmente per la successiva analisi delle immagini termiche.

## 3 Appendice

### 3.1 Glossario di termografia

---

#### A

---

##### **Assorbimento**

Quando i raggi infrarossi elettromagnetici colpiscono un oggetto, l'oggetto assorbe un po' di questa 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 di assorbimento corrisponde pertanto all'emissività.

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

---

#### C

---

##### **Campo visivo**

Cfr. "FOV (campo visivo)", pag. 41.

##### **Celsius (°C)**

Unità di misura della temperatura. In condizioni di pressione normale, lo zero della scala Celsius (0 °C) corrisponde alla temperatura di congelamento dell'acqua. Un ulteriore punto fisso della scala Celsius è il punto di ebollizione dell'acqua a 100 °C.

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

## **Condensa**

Passaggio di una sostanza dallo stato gassoso a quello liquido. L'umidità dell'aria può condensarsi sulle superfici se la loro temperatura superficiale, e quindi la temperatura dell'aria su di esse, è minore della 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, nella conduzione non vi è alcun trasporto di particelle.

## **Convezione**

Trasporto di calore in cui l'energia termica si sposta da un corpo (particelle, un liquido o un gas) ad un altro liquido o gas.

## **Corpo colorato**

I corpi colorati sono materiali la cui emissività dipende dalla lunghezza d'onda. Se si osserva lo stesso oggetto con una termocamera nello spettro infrarosso a onda lunga (LWIR, 8 – 14  $\mu\text{m}$ ) e una termocamera nello spettro infrarosso a onda media (MWIR, 3 – 5  $\mu\text{m}$ ) può essere necessario impostare diversi valori di emissività nella termocamera.

## **Corpo grigio**

Poiché in natura non esistono corpi neri ideali ( $\epsilon = 1$ ), ci si serve del concetto di corpo grigio ( $\epsilon < 1$ ). Numerosi materiali edili e organici possono essere descritti approssimativamente, in un campo spettrale ridotto, come corpi grigi. In questo caso si trascura la dipendenza della lunghezza d'onda dall'emissività (cfr.

“Corpi colorati”), in quanto la sensibilità spettrale delle comuni termocamere rileva solo una piccola sezione dello spettro infrarosso. Questo concetto rappresenta quindi un’approssimazione consentita.

Rispetto ai corpi neri, i corpi grigi non assorbono mai al 100% i raggi infrarossi che li colpiscono, per questo motivo anche l’intensità dei raggi ceduti è minore.

### **Corpo ideale**

Cfr. “Corpo nero”, pag. 40.

### **Corpo nero**

Un oggetto che assorbe tutta l’energia dai raggi infrarossi incidenti, la converte in raggi infrarossi propri e la emette al 100%. Il valore dell’emissività dei corpi neri è esattamente pari a uno. 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.

### **Corpo reale**

Cfr. “Corpo grigio”, pag. 39.

---

## **E**

### **Emissività ( $\epsilon$ )**

Misura della facoltà di un materiale di emettere (inviare) raggi infrarossi. L’emissività dipende dalle caratteristiche di una superficie, dal materiale, e, per alcuni materiali, anche dalla temperatura dell’oggetto.

---

## F

---

### **Fahrenheit (°F)**

Unità di misura della temperatura, utilizzata soprattutto in Nordamerica.

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

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

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

Facoltà di un materiale di riflettere raggi infrarossi. Il fattore di riflessione dipende dalle caratteristiche di una superficie, dalla temperatura e dal tipo di materiale.

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

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 è permeabile ai raggi infrarossi a onda lunga.

### **FOV (campo visivo)**

Campo visivo della termocamera. Esso viene espresso in gradi (ad es. 32°) e descrive la superficie visibile con la termocamera. Il campo visivo dipende dal sensore della termocamera e dall'obiettivo utilizzato. Gli obiettivi grandangolari possiedono a parità di sensore un campo visivo grande, mentre i teleobiettivi (ad es. il teleobiettivo Testo da 9°) e i superteleobiettivi un campo visivo piccolo.

## **Frequenza di riproduzione delle immagini**

Indica in Hertz la frequenza di aggiornamento al secondo dell'immagine visualizzata (ad es. 9 Hz / 33 Hz / 60 Hz). Una frequenza di ripetizione di 9 Hz significa che la termocamera aggiorna l'immagine termica nel display nove volte al secondo.

---

## **IFOV<sub>geo</sub> (Instantaneous Field of View, campo visivo istantaneo)**

L'IFOV<sub>geo</sub> indica la risoluzione del rilevatore. Esso indica la capacità di un rilevatore, a seconda del sensore e dell'obiettivo, di dare risoluzione ai dettagli. La risoluzione del rilevatore (IFOV<sub>geo</sub>) viene indicata in mrad (=milliradiani), e definisce il più piccolo oggetto che può essere riprodotto sull'immagine termica, in base alla distanza di misurazione. Sull'immagine termica, le dimensioni di detto oggetto corrispondono ad un pixel.

## **IFOV<sub>meas</sub> (Measurement Instantaneous Field of View, misura del campo visivo istantaneo)**

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

La regola empirica è la seguente:  $IFOV_{meas} \approx 3 \times IFOV_{geo}$ .

Con IFOV<sub>meas</sub> si indica anche il più piccolo spot di misurazione misurabile.

## **Immagine termica**

Immagine che mostra le distribuzioni della temperatura sulle superfici degli oggetti usando colori diversi per valori di temperatura diversi. Le immagini termiche vengono scattate con una termocamera.

## **Isoterme**

Linee di uguale temperatura. Le isoterme possono essere visualizzate con il software di analisi (ad es. Testo IRSOFT) o con termocamere di elevata qualità. Con esse vengono evidenziati a colori, nell'immagine termica, tutti i punti di misurazione i cui valori di temperatura si trovano all'interno di un campo definito.

---

## **K**

---

### **Kelvin (K)**

Unità di misura della temperatura.

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

$K = \text{°C} + 273,15$ .

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

---

## **M**

---

### **Marker del laser**

Con il marker del laser, il puntatore laser viene visualizzato senza errore di parallasse, per cui si vede l'esatta posizione dello spot laser sul display della termocamera. Questa funzione è disponibile nelle camere testo 872, testo 885 e testo 890.

### **Misurazione su due punti**

La misurazione su due punti è data da due croci di collimazione nel display della camera per la lettura delle singole temperature.

---

## N

---

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

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

---

## O

---

### **Obiettivi**

A seconda dell'obiettivo utilizzato si modificano le dimensioni del campo visivo della termocamera e quindi anche le dimensioni dello spot di misurazione. Un obiettivo grandangolare (ad es. un obiettivo standard da 32° nella testo 875i) è ideale per ottenere una panoramica della distribuzione della temperatura di una superficie di grandi dimensioni. Un teleobiettivo (ad es. il teleobiettivo Testo 9°) può essere utilizzato per riprendere con precisione i dettagli anche da grande distanza. Per misurare i minimi dettagli da grande distanza esiste inoltre un superteleobiettivo (per le camere testo 885 e testo 890).

---

## P

---

### **Puntatore laser**

Un puntatore laser supporta il puntamento sulla superficie di misurazione (un punto rosso viene proiettato sull'oggetto da misurare). Il puntatore laser e il centro della superficie di misurazione non corrispondono esattamente perché si trovano su assi ottici diversi. 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 caldo e punto freddo”, pag. 45.

## **Punto caldo e punto freddo**

Per “punto freddo” si intende il punto più freddo di un’area dell’immagine termica, mentre per “punto caldo” si intende appunto il punto più caldo.

Con la funzione “Rilevamento automatico punto caldo-freddo” è possibile visualizzare questi due punti direttamente sull’immagine termica, sul display della camera. Questa funzione è disponibile anche in alcuni software di analisi, ad esempio testo IRSoft o testo Thermography App, dove è possibile visualizzare questi due punti anche per le aree liberamente definibili dell’immagine termica.

## **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 al 100% di vapore acqueo.

Quando l’aria non può più assorbire vapore acqueo, si forma la condensa.

---

## **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.

Sul radiatore di Lambert è possibile misurare con la termocamera la temperatura della radiazione riflessa.

## **Raggi infrarossi**

I raggi infrarossi sono radiazioni elettromagnetiche. Qualsiasi oggetto che possieda una temperatura al di sopra dello zero assoluto (0 Kelvin = -273,15 °C) emette raggi infrarossi. I raggi infrarossi si estendono nel campo di lunghezza d'onda compreso tra 0,78  $\mu\text{m}$  e 1000  $\mu\text{m}$  (= 1 mm), e confinano quindi con il campo di lunghezza d'onda della luce (0,38 – 0,78  $\mu\text{m}$ ). Le termocamere misurano spesso i raggi infrarossi a onda lunga nel campo compreso tra 8 e 14  $\mu\text{m}$  (testo 865, testo 872, testo 875i, testo 882, testo 885, testo 890), poiché l'atmosfera in questo campo di lunghezza d'onda è molto permeabile ai raggi infrarossi.

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

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

Nella maggior parte dei casi, la temperatura riflessa è identica alla temperatura ambiente (soprattutto nella termografia effettuata dall'interno). Se i raggi infrarossi da fonti d'interferenza sono riflessi sulla superficie dell'oggetto da misurare, bisogna determinare la temperatura della radiazione riflessa (es. usando un radiatore di Lambert). La temperatura riflessa produce solamente un effetto limitato sugli oggetti con un'emissività molto elevata.

---

## S

---

### **Sensore**

Il sensore riceve i raggi infrarossi e li converte in un segnale elettrico. La risoluzione geometrica del sensore viene indicata in pixel, e la sensibilità termica con la NETD.

### **Spot di misura**

Cfr. “IFOVmeas (Measurement Instantaneous Field of View, misura del campo visivo istantaneo)”, pag. 42.

---

## T

---

### **Taratura**

Procedura nella quale i valori misurati di un apparecchio (valori effettivi) e i valori misurati di un apparecchio di riferimento (valori nominali) vengono rilevati e confrontati tra loro. Il risultato fornisce indizi sull’eventuale presenza dei valori misurati effettivi dell’apparecchio in una zona limite/intervallo di tolleranza consentiti. Rispetto alla regolazione, nella taratura lo scostamento rilevato del valore misurato effettivo viene solamente documentato, e non confrontato con il valore misurato nominale. La frequenza di effettuazione delle tarature dipende dal tipo e dai requisiti di misurazione.

### **Tavola colori**

Selezione della rappresentazione cromatica dell’immagine termica nella camera (ad esempio tavola colori “arcobaleno”, “ferro”, “livelli di grigio”). A seconda del tipo di misurazione e della tavola colori impostata, è possibile illustrare in modo variabile contrasti delle immagini termiche. La tavola colori può essere impostata anche in

modo personalizzato dopo aver salvato l'immagine termica con l'ausilio del software di analisi (ad esempio testo IRSoft o testo Thermography App). Durante la scelta della tavola colori prestare attenzione anche alla interpretabilità dell'immagine termica. I colori rossi e gialli vengono associati dall'osservatore per lo più intuitivamente al caldo, mentre i colori verdi e blu al freddo.

### **Temperatura**

Indicatore dell'energia intrinseca a un corpo.

### **Tempo di adattamento**

Il tempo di adattamento è il tempo necessario alla termocamera per adattarsi alla temperatura ambiente del luogo di misurazione per poter misurare all'interno delle specifiche. Il tempo di adattamento della termocamera è riportato nel manuale di istruzioni.

### **Termocamera**

Una camera 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 sono per esempio la termografia edile e la termografia elettrica e industriale.

### **Termografia**

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

### **Termogramma**

Cfr. "Immagine termica", pag. 42.

---

## 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 innanzitutto sulle superfici fredde.

---

## Z

---

### **Zero assoluto**

Lo zero assoluto corrisponde a  $-273,15\text{ °C}$  ( $0\text{ Kelvin} = -459,69\text{ °F}$ ). Nessun corpo emette raggi infrarossi sotto lo zero assoluto.



## 3.2 Tabella dell'emissività

La seguente tabella serve come linea guida per l'impostazione dell'emissività nella misurazione a raggi infrarossi. Essa indica l'emissività  $\epsilon$  di alcuni materiali di uso comune. Poiché il valore dell'emissività si modifica con la temperatura e le caratteristiche superficiali, i valori qui riportati dovranno essere ritenuti solamente indicativi per la misurazione delle condizioni o delle differenze di temperatura. Per misurare il valore assoluto della temperatura, occorre determinare esattamente l'emissività del materiale.

<b>Materiale (temperatura del materiale)</b>	<b>Emissività</b>
Acciaio con superficie trattata termicamente (200 °C)	0,52
Acciaio ossidato (200 °C)	0,79
Acciaio laminato a freddo (93 °C)	0,75–0,85
Alluminio lucido (170 °C)	0,04
Alluminio non ossidato (25 °C)	0,02
Alluminio non ossidato (100 °C)	0,03
Alluminio fortemente ossidato (93 °C)	0,20
Alluminio lucidato (100 °C)	0,09
Arenaria (40 °C)	0,67
Argilla cotta (70 °C)	0,91
Calcestruzzo (25 °C)	0,93
Carta (20 °C)	0,97
Colori ad olio (tutti i colori) (90 °C)	0,92–0,96
Cotone (20 °C)	0,77
Cromo (40 °C)	0,08
Cromo lucido (150 °C)	0,06
Dispersore nero anodizzato (50 °C)	0,98
Essere umano (36 °C)	0,98

<b>Materiale (temperatura del materiale)</b>	<b>Emissività</b>
Ferro con pelle (100 °C)	0,80
Ferro con pelle di laminazione (20 °C)	0,77
Ferro smerigliato (20 °C)	0,24
Gesso (20 °C)	0,90
Ghiaccio liscio (0 °C)	0,97
Ghisa ossidata (200 °C)	0,64
Gomma morbida-grigia (23 °C)	0,89
Gomma rigida (23 °C)	0,94
Granito (20 °C)	0,45
Legno (70 °C)	0,94
Marmo bianco (40 °C)	0,95
Materie plastiche: PE, PP, PVC (20 °C)	0,94
Mattoni, malta, intonaco (20 °C)	0,93
Muratura (40 °C)	0,93
Ottone ossidato (200 °C)	0,61
Porcellana (20 °C)	0,92
Piombo (40 °C)	0,43
Piombo ossidato (40 °C)	0,43
Piombo grigio per ossidazione (40 °C)	0,28
Rame laminato (40 °C)	0,64
Rame leggermente ossidato (20 °C)	0,04
Rame lucidato (40 °C)	0,03
Rame ossidato (130 °C)	0,76
Sughero (20 °C)	0,70
Vernice blu su foglio di alluminio (40 °C)	0,78
Vernice nera opaca (80 °C)	0,97
Vernice gialla, 2 strati su foglio di alluminio (40 °C)	0,79
Vernice bianca (90 °C)	0,95
Vernice per trasformatori (70 °C)	0,94
Vetro (90 °C)	0,94
Zinco ossidato	0,1

### 3.3 Testo consiglia

#### **Taratura della termocamera**

La Testo SE & Co. KGaA consiglia di far effettuare regolarmente la taratura della termocamera. La frequenza di questa procedura dipende dai tipi e dai requisiti di misurazione. Maggiori informazioni sulla taratura della termocamera sono riportate al sito [www.testo.com](http://www.testo.com).

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

Essere sempre aggiornati sulle conoscenze attuali: è uno dei requisiti fondamentali per essere sempre all'altezza delle complesse attività di misurazione e dei crescenti requisiti qualitativi. Per questo motivo la Testo SE & Co. KGaA propone corsi di formazione sulla termografia per i più diversi campi di impiego. Maggiori informazioni sull'offerta di corsi di formazione sono riportate al sito [www.testo.com](http://www.testo.com).

**Maggiori informazioni al sito:  
[www.testo.com](http://www.testo.com)**



## A proposito: lo sapevate che...

Grazie alla loro capacità di vedere le radiazioni di calore, i crotalini riescono a percepire rapidissimamente (anche al buio) le loro prede e i loro nemici?

Questi rettili, una sottospecie delle vipere, percepiscono molto rapidamente anche minime differenze di temperatura di circa 0,0003 gradi grazie al cosiddetto “organo a fossetta”, un organo estremamente sensibile con cui i crotalini rilevano il calore corporeo e a cui le moderne termocamere sono molto simili...



Gli indirizzi attuali delle nostre filiali e rappresentanze sparse nel mondo sono reperibili sul sito