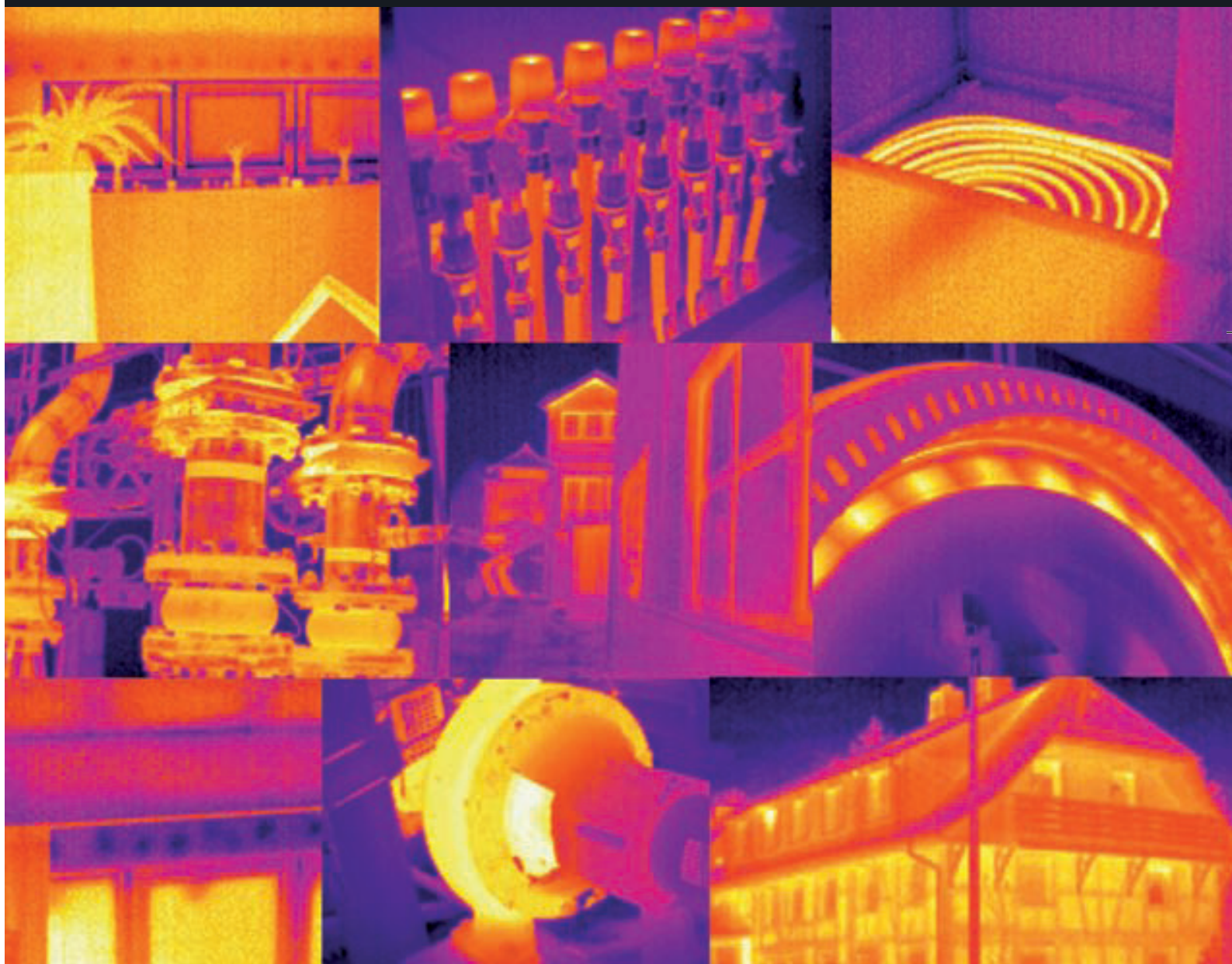


testo

In anticipo sul futuro

# 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 dell'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!

A handwritten signature in black ink that reads 'Daniel' followed by a stylized flourish.

*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 =  $-273,15\text{ °C}$ ) 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.

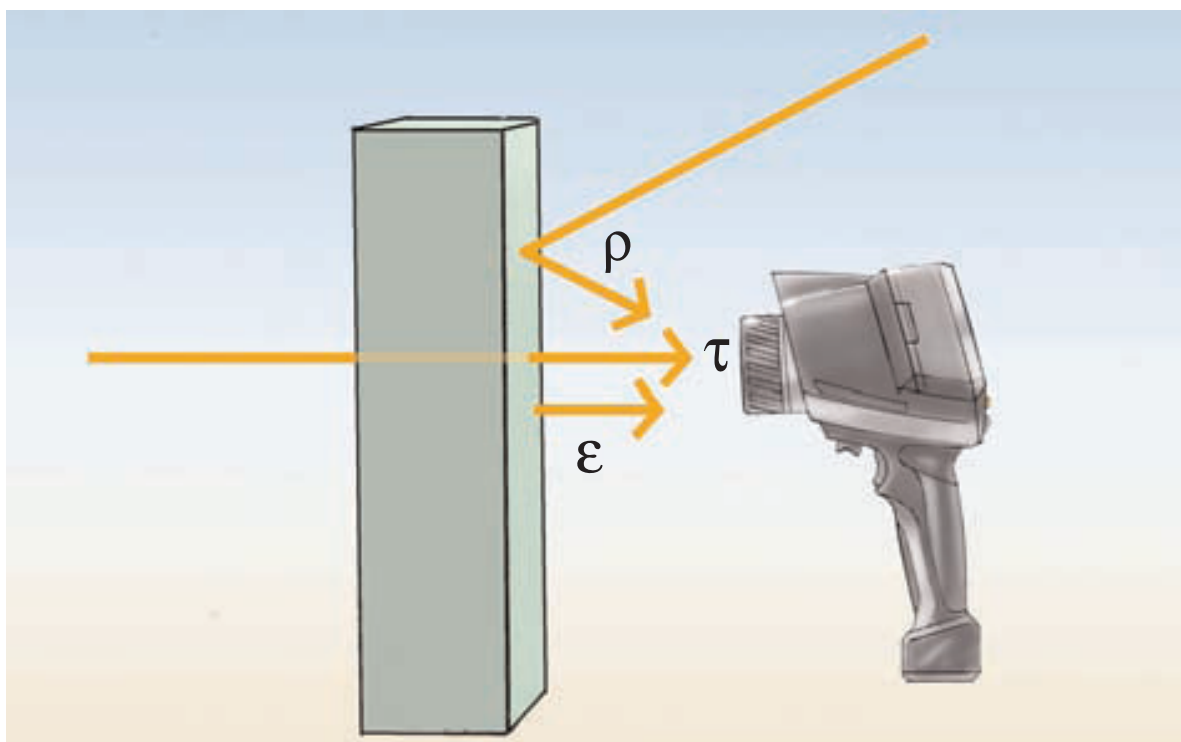
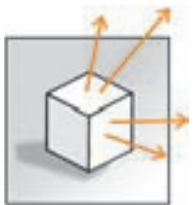


Figura 1.1: Emissione, riflessione e trasmissione

### 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).

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

- Corpi reali:  $\varepsilon < 1$ , 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 ( $\varepsilon \approx$  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.
- $\varepsilon$  può essere impostata manualmente nella termocamera.

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

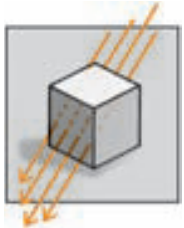
Il fattore di riflessione ( $\rho$ ) è una misura della capacità di un materiale di riflettere i raggi infrarossi.



- $\rho$  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,

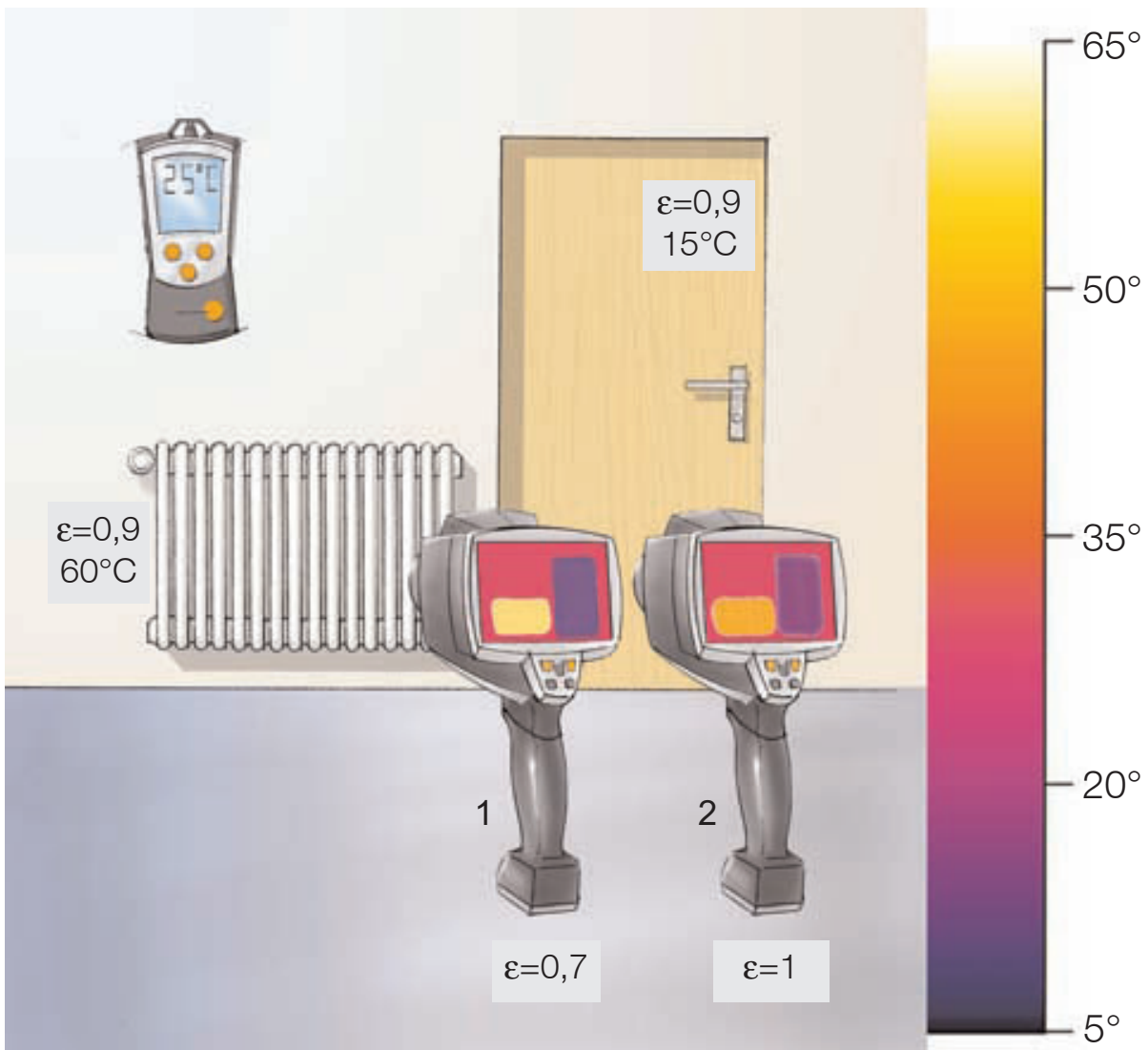
- ⇒ tanto maggiore è la quota di raggi infrarossi riflessi,
- ⇒ tanto più difficile è effettuare una misura precisa della temperatura e
- ⇒ tanto più importante è che la compensazione della temperatura riflessa (RTC) sia impostata correttamente.

### **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:**

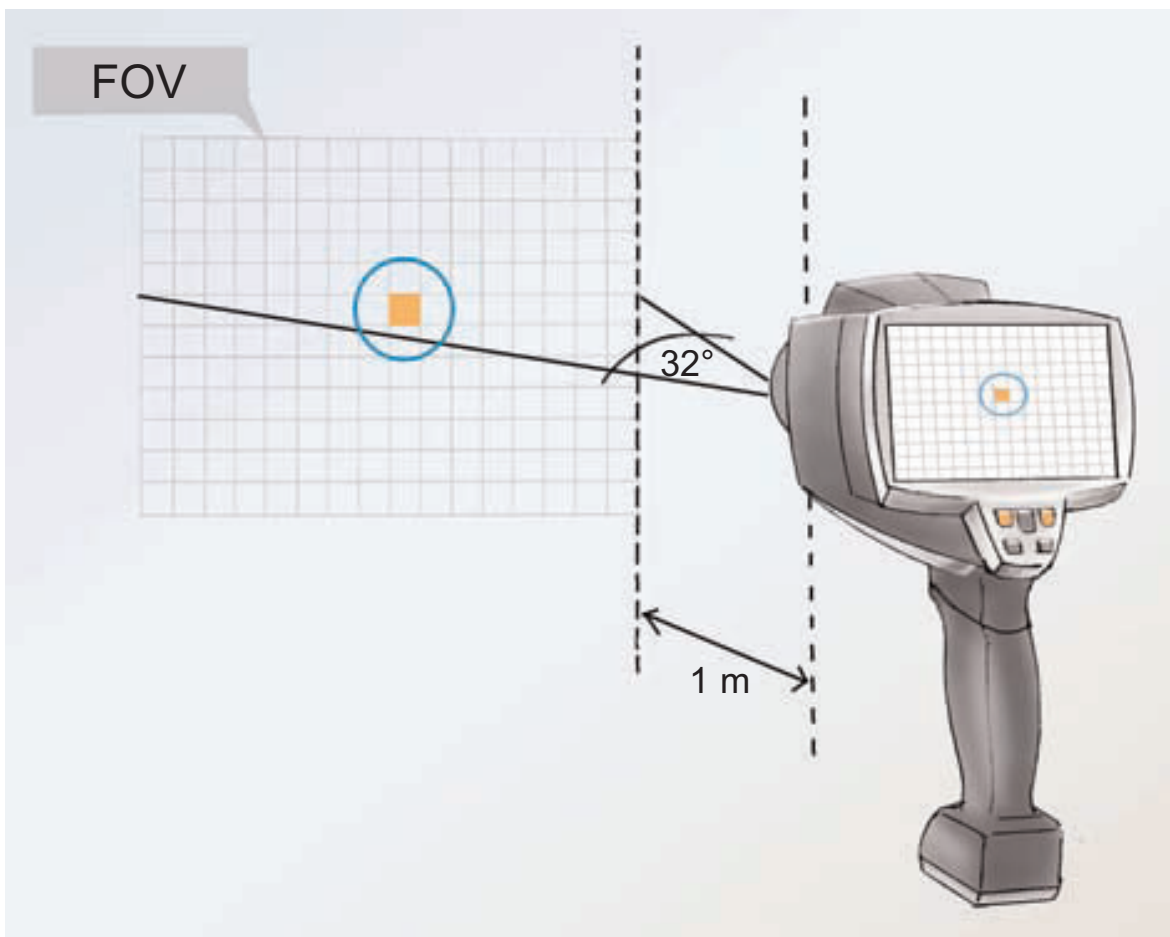
Seguire sempre le istruzioni operative per l'oggetto di misura!

- 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.

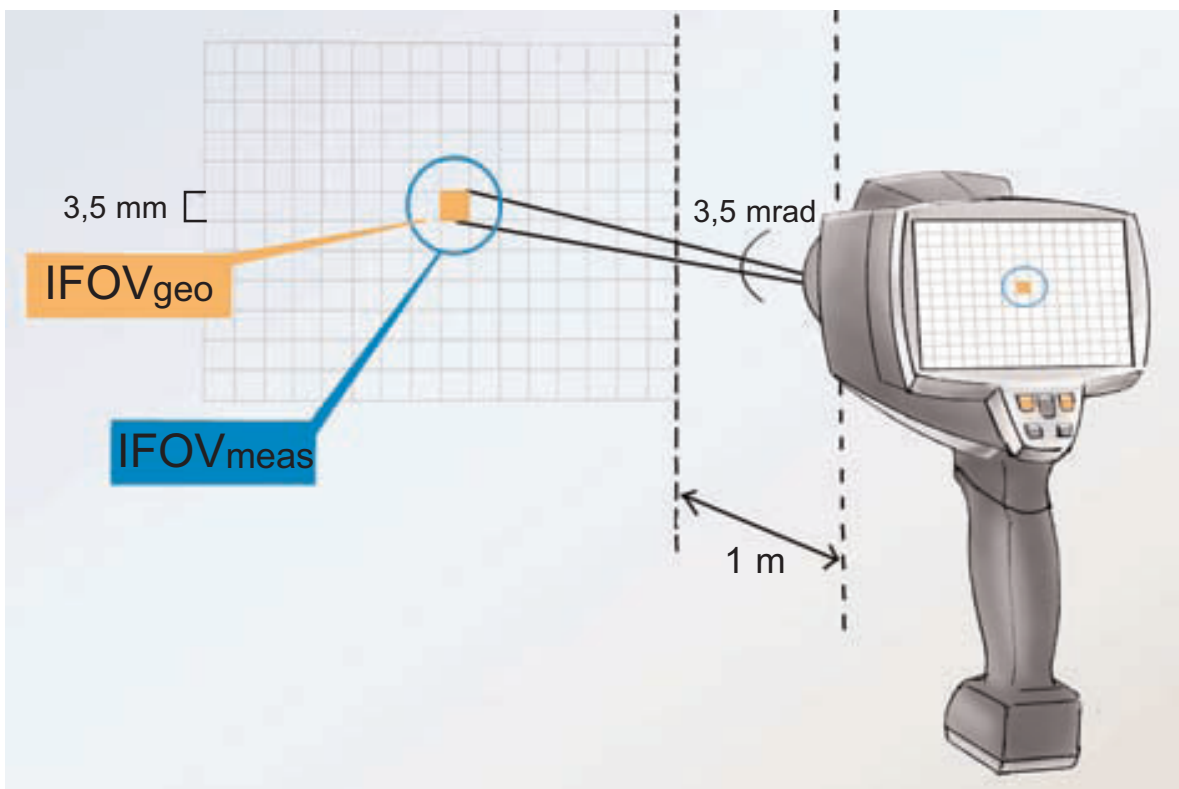


Figura 1.4: Campo visivo di un singolo pixel

Con una risoluzione spaziale della lente di 3,5 mrad e una distanza di misura di 1 m, il più piccolo oggetto identificabile (IFOV<sub>geo</sub>) 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 (IFOV<sub>geo</sub>).

La seguente regola pratica si applica pertanto al più piccolo oggetto misurabile (IFOV<sub>meas</sub>):

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

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

