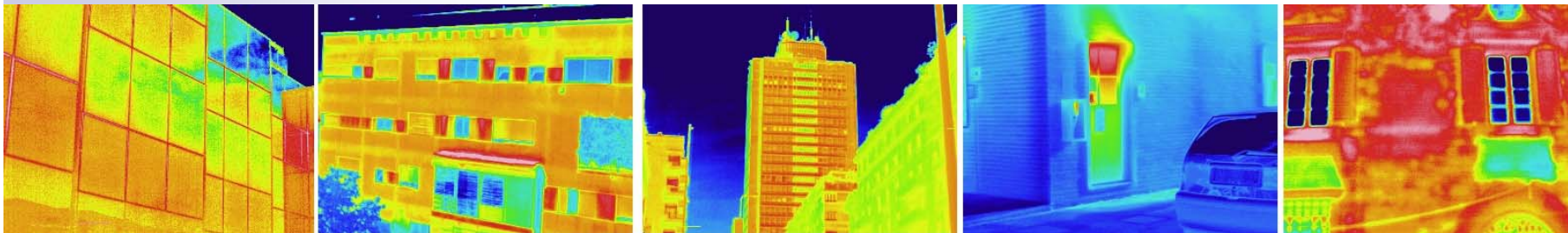


**Roberto Ricca**

e-mail: [r.ricca@inprotec.it](mailto:r.ricca@inprotec.it)

# L'utilizzo della termografia come strumento diagnostico in edilizia 1<sup>a</sup> parte



# Definizione di Termografia

Con il termine termografia si intende l'uso di telecamere sensibili all'infrarosso per visualizzare e/o misurare l'energia termica emessa da un oggetto.

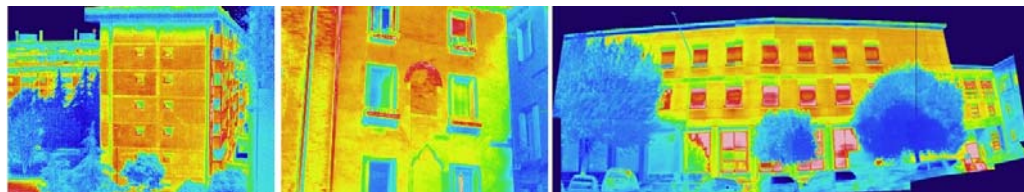
Ogni oggetto con temperatura maggiore dello zero assoluto, emette calore; più è alta la temperatura dell'oggetto, maggiore è la radiazione IR emessa.

Le telecamere ad infrarosso o termocamere visualizzano quello che l'occhio umano non può vedere e permettono precise misure non a contatto di temperatura.

Praticamente ogni componente elettrico o meccanico si scalda prima della rottura, quindi le termocamere forniscono un ottimo strumento diagnostico nelle più svariate applicazioni.

# Cos'è una termocamera ?

Una termocamera è un dispositivo che visualizza l'energia infrarossa (calore) non a contatto e la converte in segnale elettrico. Questo segnale viene poi processato per produrre un'immagine su un monitor per ottenere una misura di temperatura.

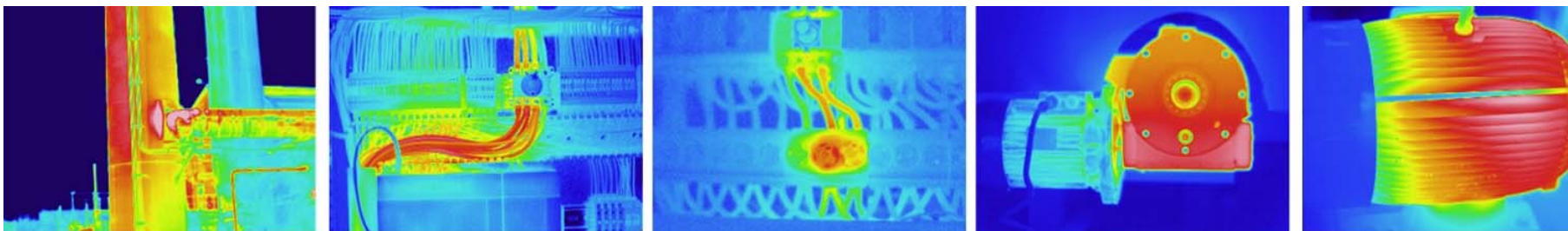


## Perché misurare la temperatura ?

Spesso la sola visualizzazione dell'immagine termica non è sufficiente per effettuare una diagnostica. Le termocamere producono immagini termiche radiometriche che contengono la misura di oltre 19.200 pixel (160x120) 76.000 pixel (320x240) od oltre 307.000 pixel (640x480) temperature indipendenti.

# Perché utilizzare una termocamera ?

- Eseguono ispezioni senza perturbare il sistema
- Presentano in tempo reale il calore prodotto
- Misurano la temperatura senza contatto
- Producono un'immagine che equivale all'utilizzo contemporaneo di migliaia di termocoppie o pirometri
- Identificano e localizzano il problema
- Salvano le informazioni
- Individuano i problemi prima che si verifichino i guasti
- Consentono un risparmio di tempo e denaro



**Il mercato offre molti modelli di strumentazione termografica per cui diventa difficile per un potenziale cliente scegliere lo strumento più adatto.**



**INPROTEC**

[www.inprotec.it](http://www.inprotec.it)

**NEC**  
NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd.

## **Specifiche tecniche fondamentali per una termocamera con sensore microbolometrico non raffreddato.**

- **Tipo di sensore**
- **Numero pixel del sensore**
- **Risoluzione termica**
- **Risoluzione spaziale o geometrica**
- **Frequenza immagine**
- **Immagine visibile**
- **Elementi ausiliari inclusi (illuminatori, laser, registrazione commenti vocali ecc.)**

# Tipo di sensore microbolometrico non raffreddato.

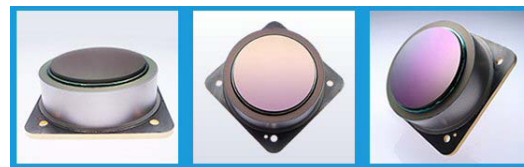
## Materiale costitutivo

- **VOx (Ossido di Vanadio)**
- **aSi (Silicio Amorfo)**

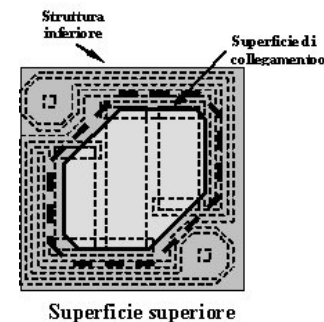
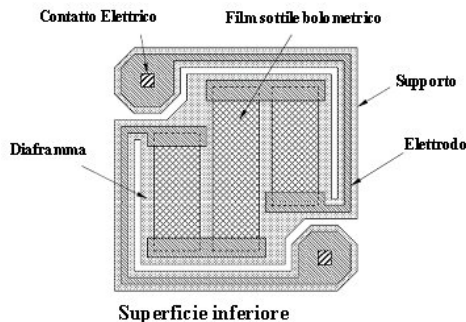
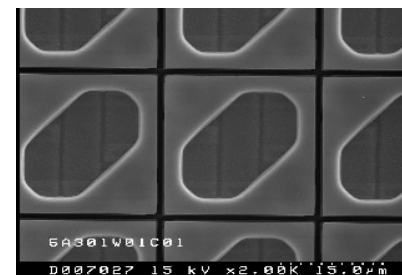
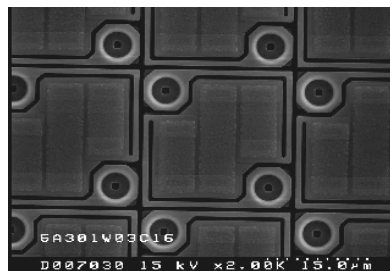
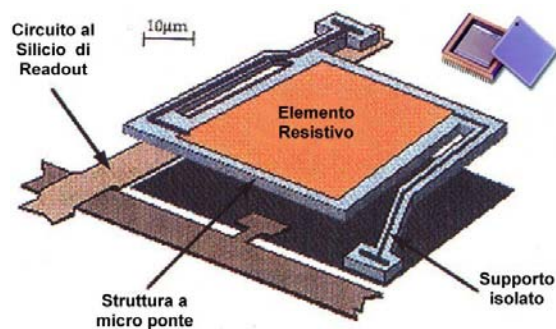
## Processo di Produzione

- **Single Layer o Dual Layer**

# Sensore microbolometrico

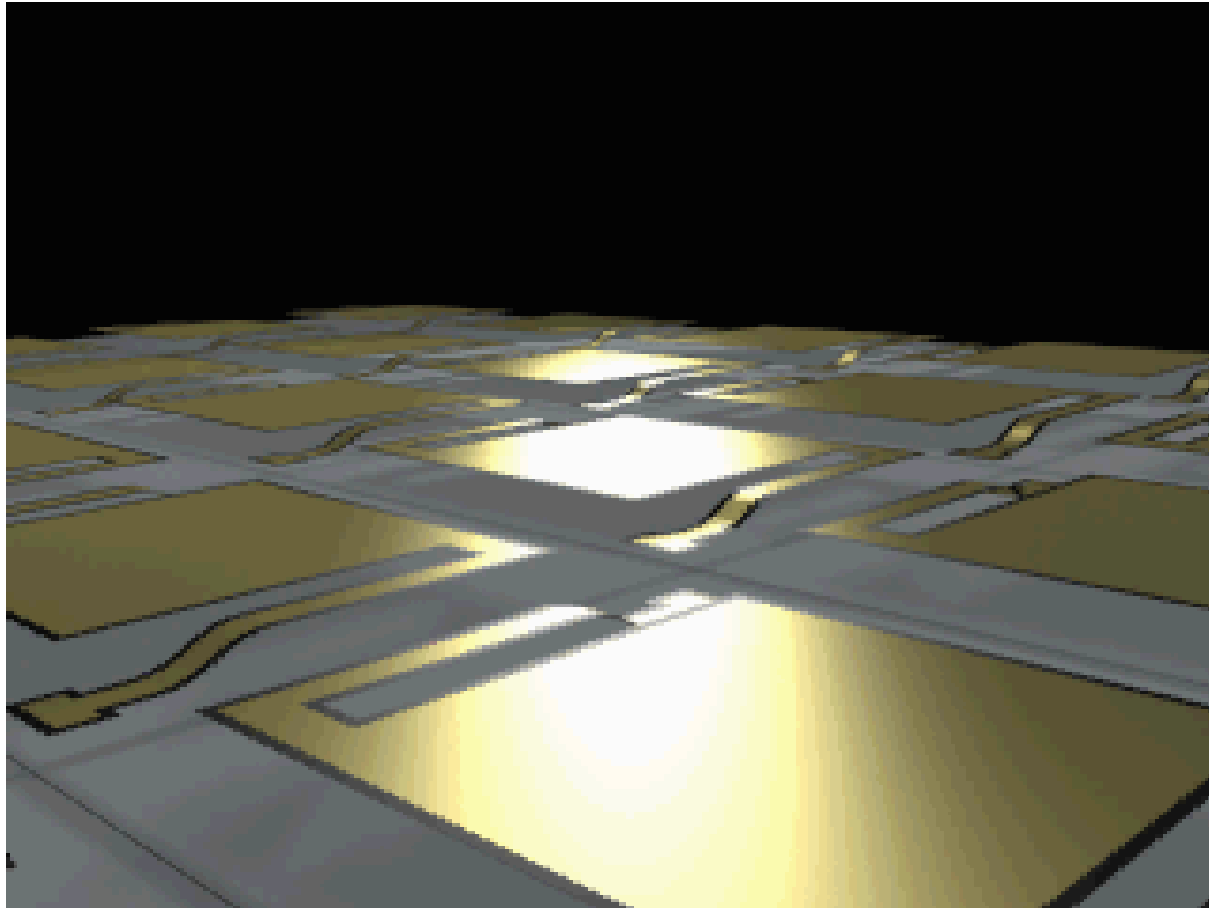


Il sensore microbolometrico ha la funzione di trasformare l'energia Infrarossa che colpisce ogni singolo elemento del sensore in un grandezza fisica misurabile. In particolare il sensore varia il proprio valore di resistenza elettrica, in funzione dell'energia IR, quindi temperatura dell'oggetto inquadrato; detta variazione viene letta dal circuito di misura integrato "ROIC" (Readout Integrated Circuit) e mediante una tabella di calibrazione è calcolata la temperatura.

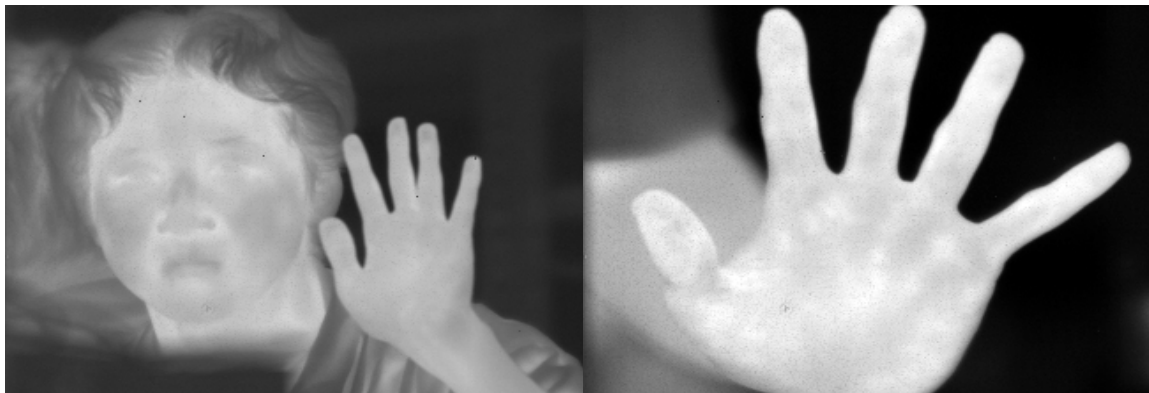
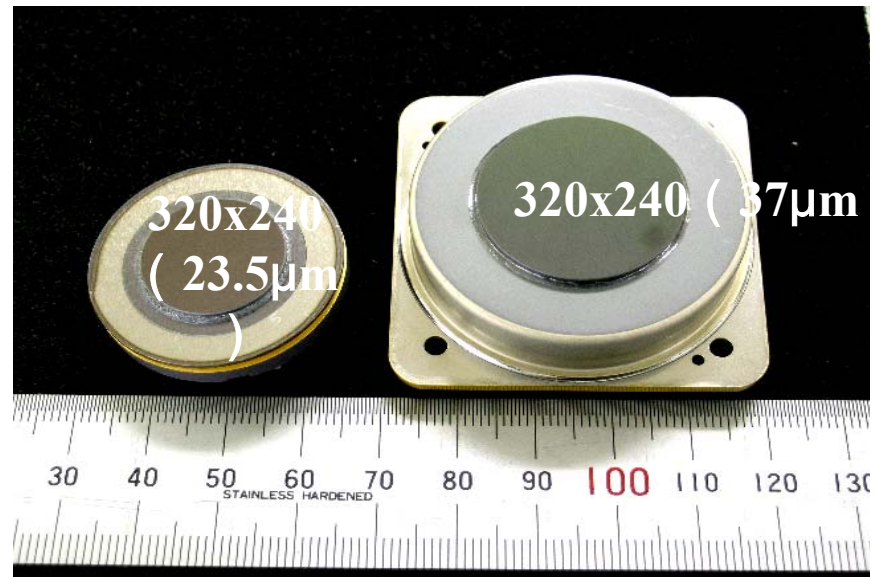
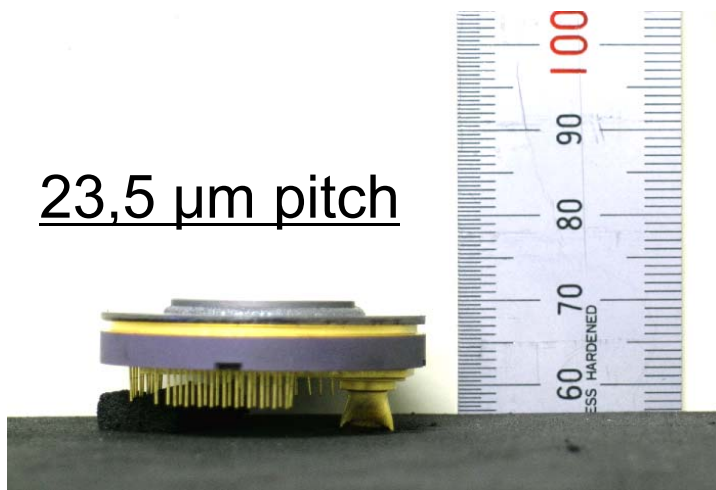




# Filmato sensore microbolometrico

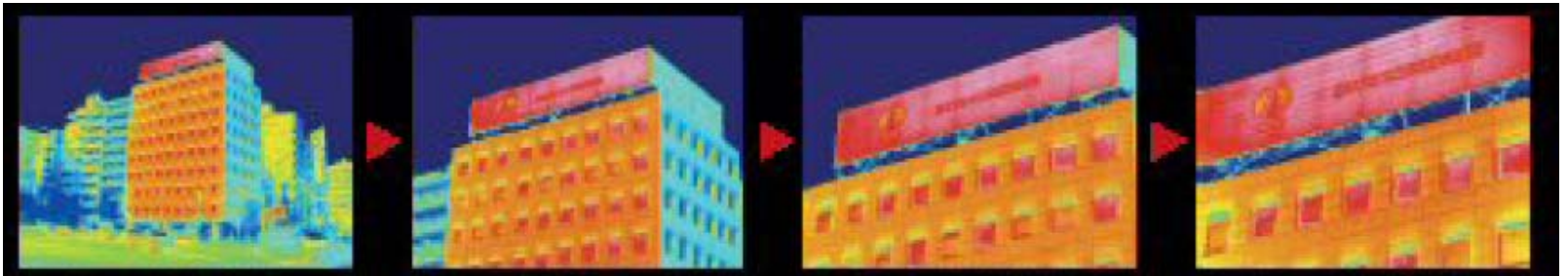


# Sensore microbolometrico 320x240 pixel



# DIMENSIONE DEL SENSORE (RISOLUZIONE GEOMETRICA)

- **160 x 120 pixel**
- **320 x 240 pixel**
- **640 x 480 pixel**

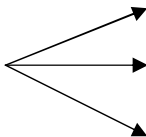


# Numero di pixel dei sensori

Sul mercato industriale esistono vari tipi di strumentazione termografica esistono termocamere con sensori aventi differente numero di pixel.

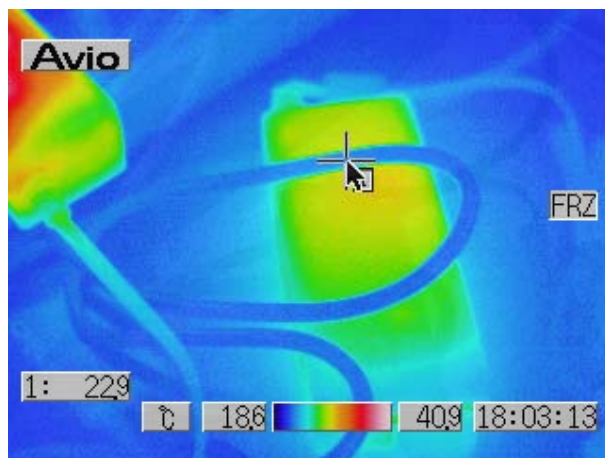
I sensori principalmente utilizzati in termografia sono:

160x120 pixel da cui derivano  80x80 pixel  
120x120 pixel

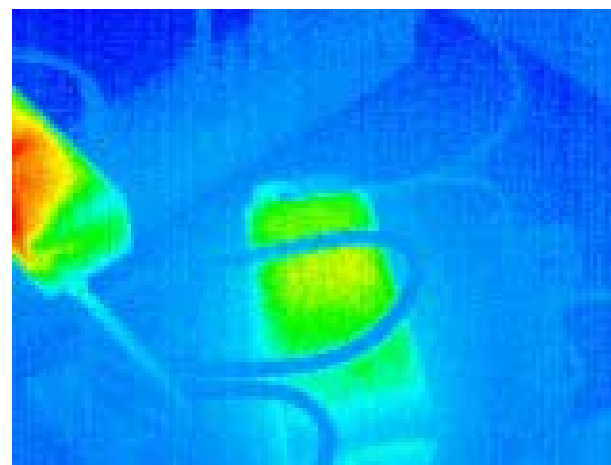
320x240 pixel da cui derivano  140x140 pixel  
180x180 pixel  
200x150 pixel

640x480 pixel

# Differenza Sensori 320x240 vs. 160x120 pixel



**320 x 240 pixel**



**160 x 120 pixel**

L'immagine radiometrica con i sensori professionali risulta essere di gran lunga più definita e permette misure su oggetti molto più piccoli.

# Differenza Sensori 640x480 vs. 320x240 pixel

320x240, 37 $\mu$ m pitch

640x480, 23.5 $\mu$ m pitch



NETD=60mK @F/1 60Hz

Particolare immagine di  
un sensore 320x240 pixel



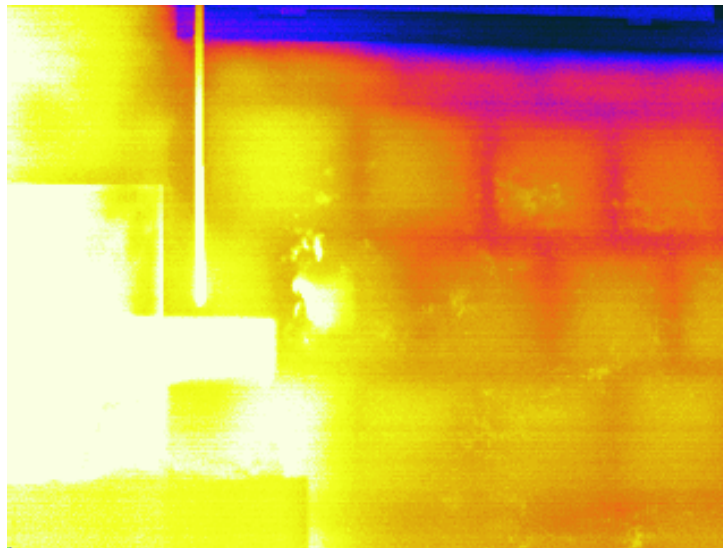
NETD=50mK @F/1 30Hz

Particolare immagine di  
un sensore 640x480 pixel

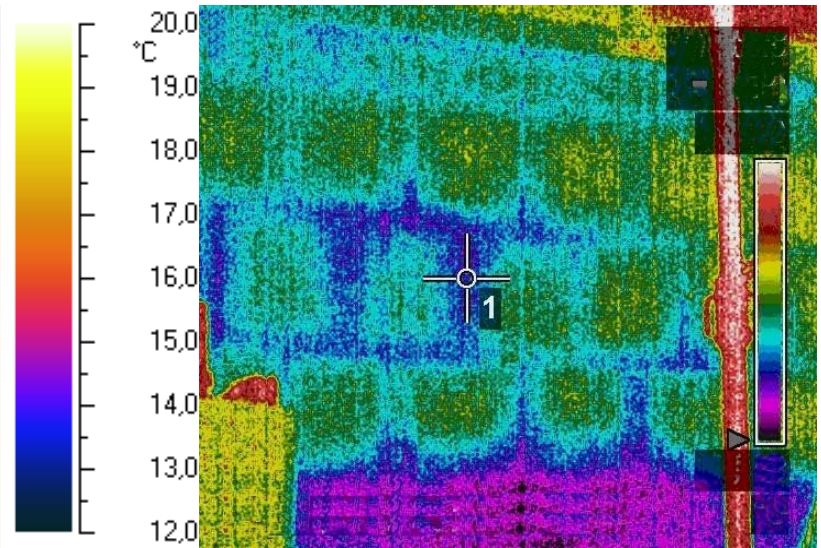


# Risoluzione termica

La risoluzione termica di un'immagine termografica indica il minimo delta T misurabile dalla termocamera. Sotto sono riportate due immagini riprese con termocamere aventi differente risoluzione termica.



Risoluzione 0,05°C



Risoluzione 0,1°C

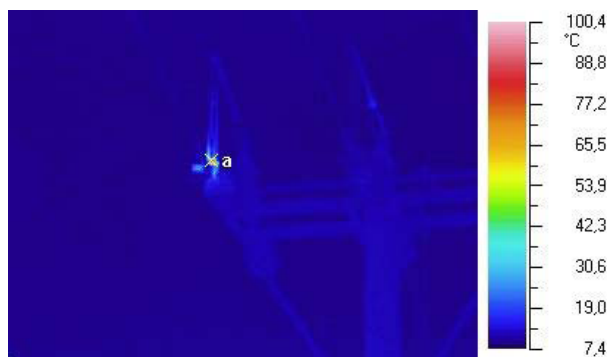
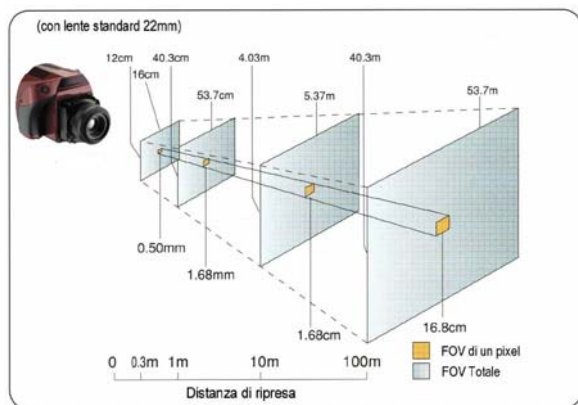
# Calcolo risoluzione spaziale

- Ogni obiettivo ha una risoluzione geometrica che definisce le dimensioni dell'oggetto più piccolo di cui si può misurare la temperatura alle varie distanze.
- La risoluzione si esprime in mrad. e permette in modo semplice di ottenere la dimensione corrispondente ad un pixel alle varie distanze.
- Un obiettivo con risoluzione geometrica 1,4 mrad. permette di misurare un oggetto con le dimensioni minime pari a:  
**risoluzione in mm. = (1,4 x distanza in metri)**



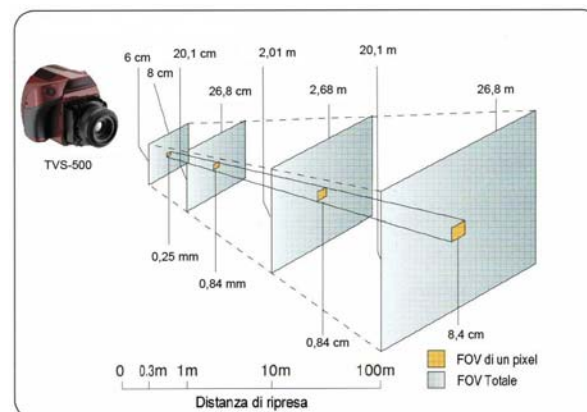
# Risoluzione spaziale o geometrica (IFOV)

## Ripresa con ottica standard



Temperatura punto a) 99,3°C

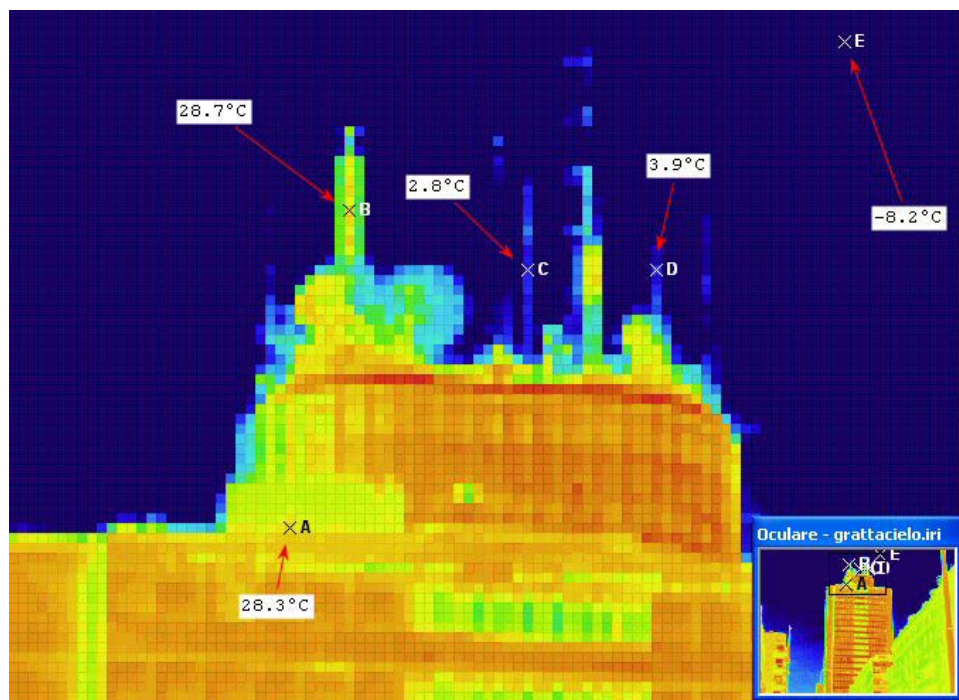
## Ripresa con teleobiettivo



Temperatura punto a) 141,5°C

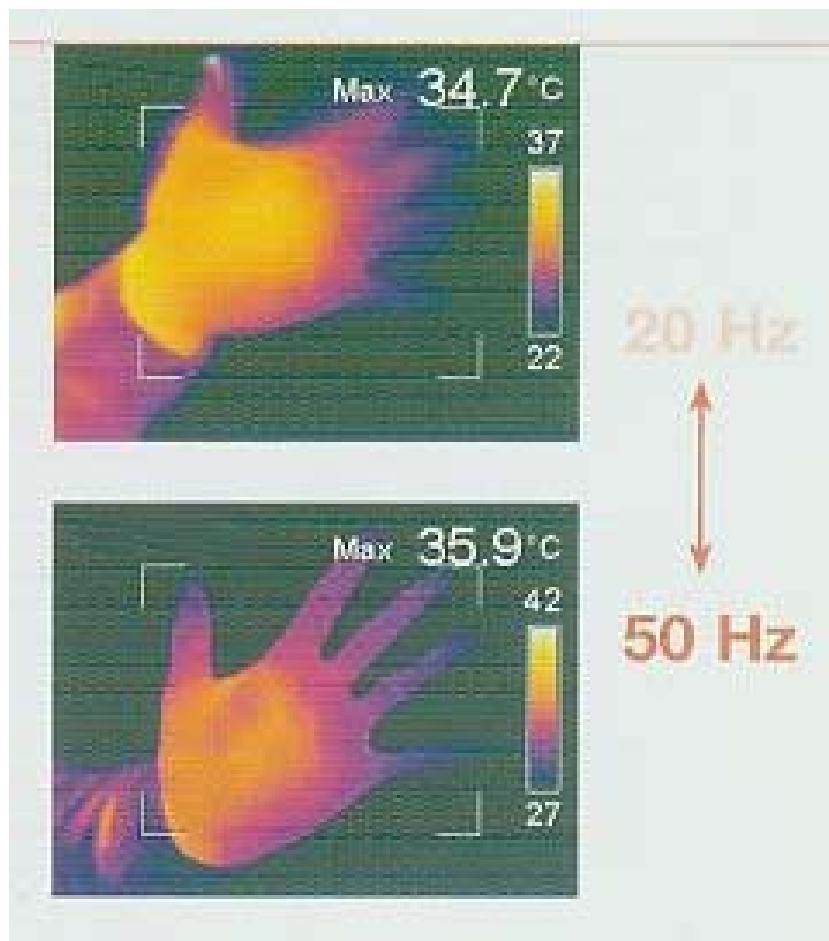
# Risoluzione spaziale insufficiente

- Questa ripresa è stata effettuata con un obiettivo avente risoluzione geometrica di 1,4 mrad. Tale obiettivo non è sufficiente, per misurare la temperatura corretta dei componenti che si trovano sulla parte superiore del grattacielo.

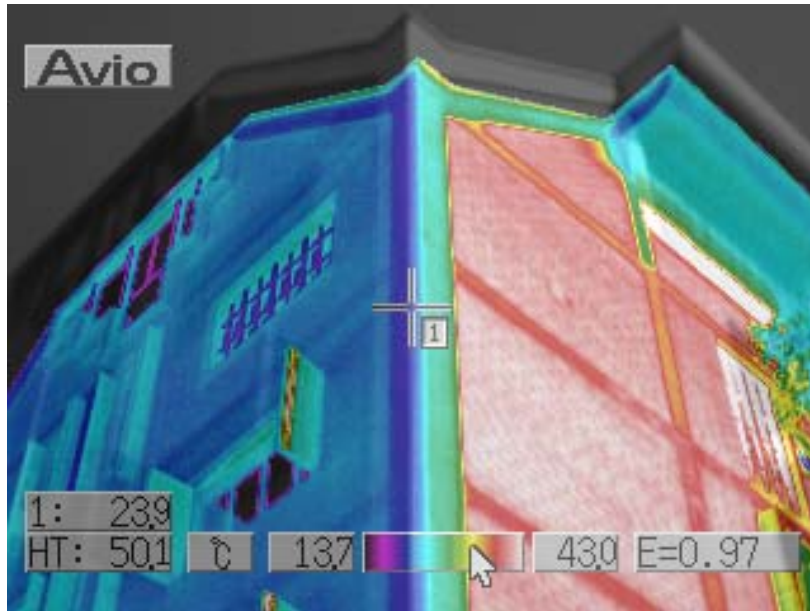


# Frequenza immagine

Le termocamere con frequenza di quadro non televisiva, sotto i 30 Hz, non sempre permettono di avere una ripresa con l'immagine ferma, se l'oggetto o la mano dell'operatore non è perfettamente ferma possono avere un effetto mosso.



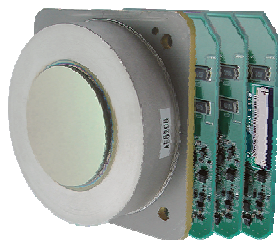
# Immagine visibile



**La ripresa contemporanea dell'immagine infrarosso e visibile permette di avere un'interpretazione più facile nel rapporto d'ispezione termografico.**

# Modulo sensore e termocamera

## Esempio di Modulo IR



- ⊙ 320×240 pitch 23.5μm
- ⊙ Uscita RS-170, digitale
- ⊙ dimensioni 40×40×40mm

## Termocamera IR



- ⊙ 320×240 pitch 23,5 μm
- ⊙ Uscita video RS-170, digitale
- ⊙ FOV 40°×30°
- ⊙ dimensioni 50×50×60 mm

# Termocamera TVS-200EX smontata

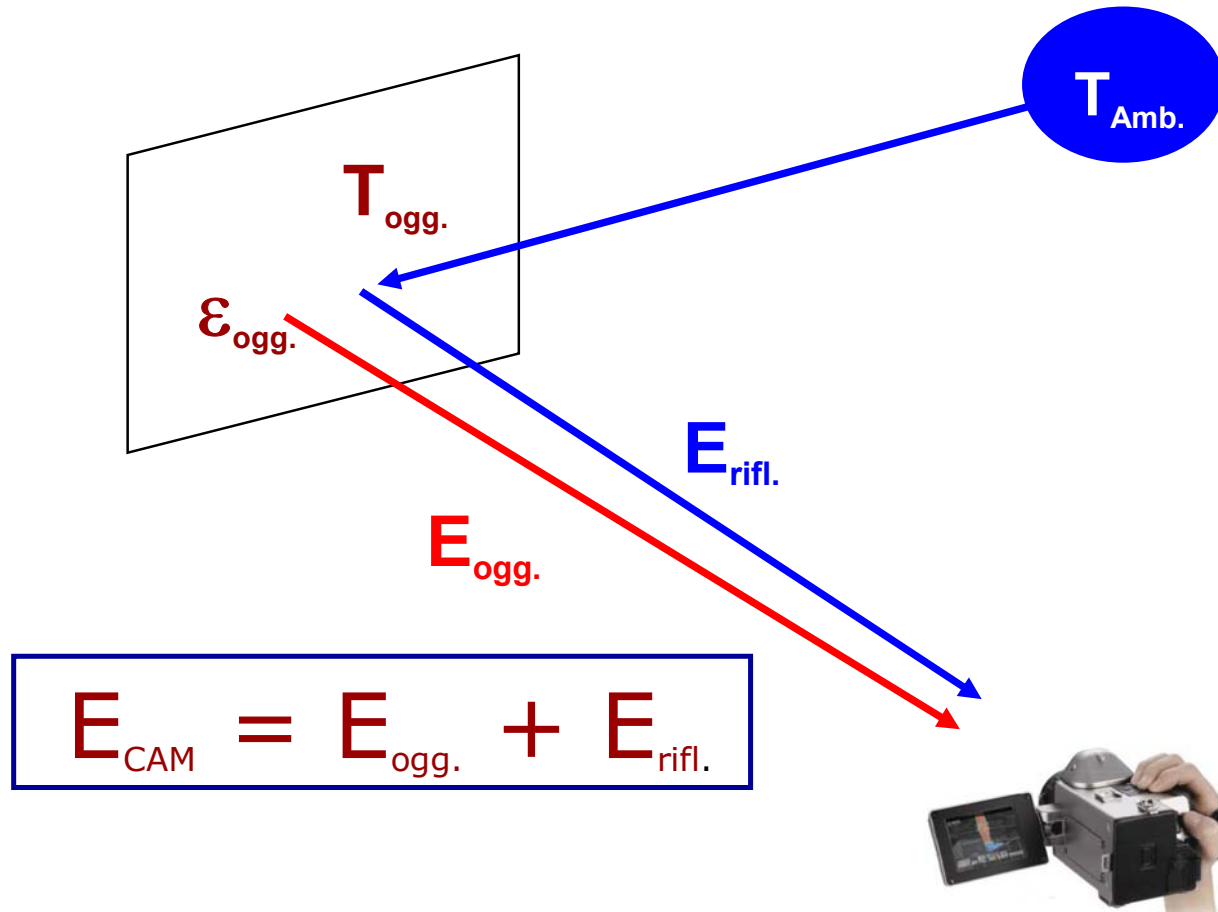


# Applicazioni dei sensori non raffreddati



# Componenti dell'energia irradiata

## Concetti di Emissività e Temperatura Riflessa





# Componenti dell'energia irradiata - Emissività

## Impostazione della corretta emissività

Notare le conseguenze sulla misura di temperatura dello stesso oggetto ripreso con due immagini termiche che, a parità di tutte le altre impostazioni (temp. riflessa, obiettivo, distanza ecc), hanno un diverso valore impostato di emissività.



Foto visiva del particolare

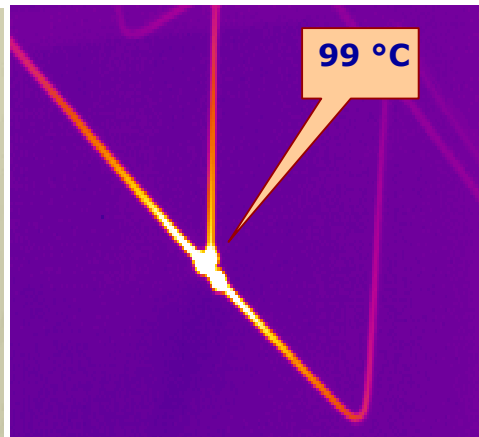


Foto termica 1:  
Emissività = 0,50

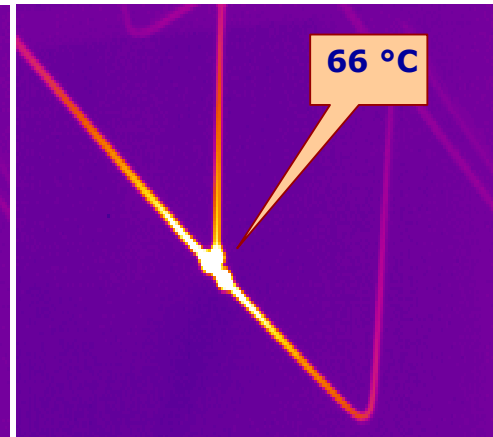


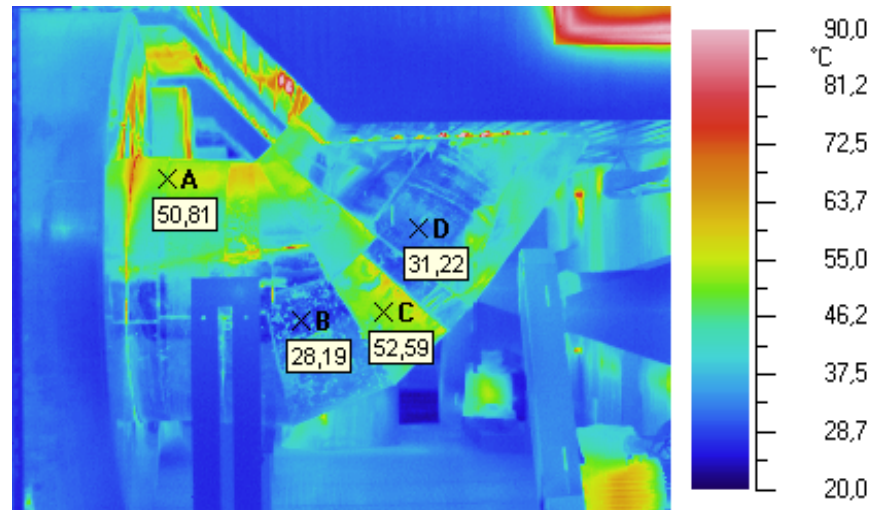
Foto termica 2  
Emissività = 0,90

# Emissività

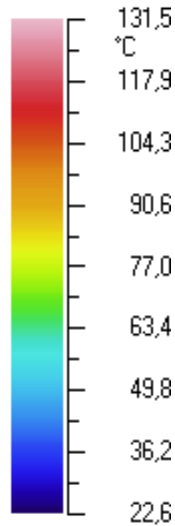
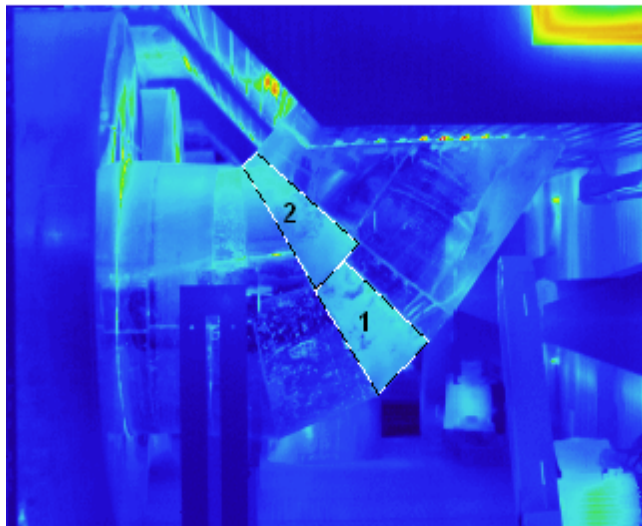
- $\varepsilon$  dipende dal materiale di cui è composto l'oggetto (valori tabulati)
- Per corpi non trasparenti  $\tau = 0$ , ne segue che  $\varepsilon + \rho = 1$ , quindi più  $\varepsilon$  è basso e più la misura è influenzata dall'ambiente che circonda l'oggetto. Utilizzando un oggetto specchio ( $\varepsilon = 0$ ) si può misurare la componente dovuta all'ambiente (e quindi  $\rho$ ).
- Una volta impostati questi valori, la termocamera è in grado di effettuare una misura precisa della temperatura dell'oggetto.

# Esempio di un superfici con differente emissività.

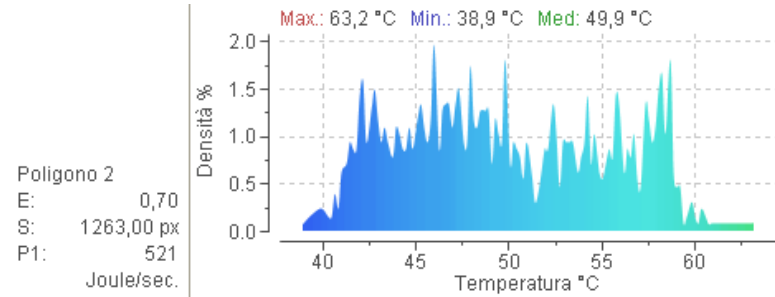
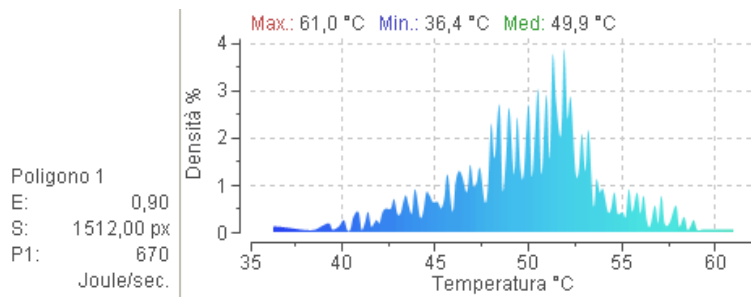
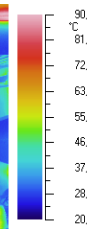
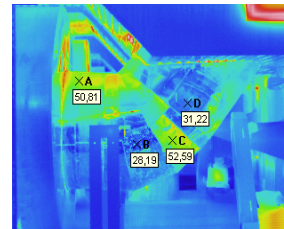
In questa condotta uscita fumi viene misurata sulla superficie lucida  $28,19^{\circ}\text{C}$  mentre sulla superficie opaca si misura  $52,59^{\circ}\text{C}$ . Tale differenza di misura è dovuta alla differente emissività.



# Correzione emissività per aree

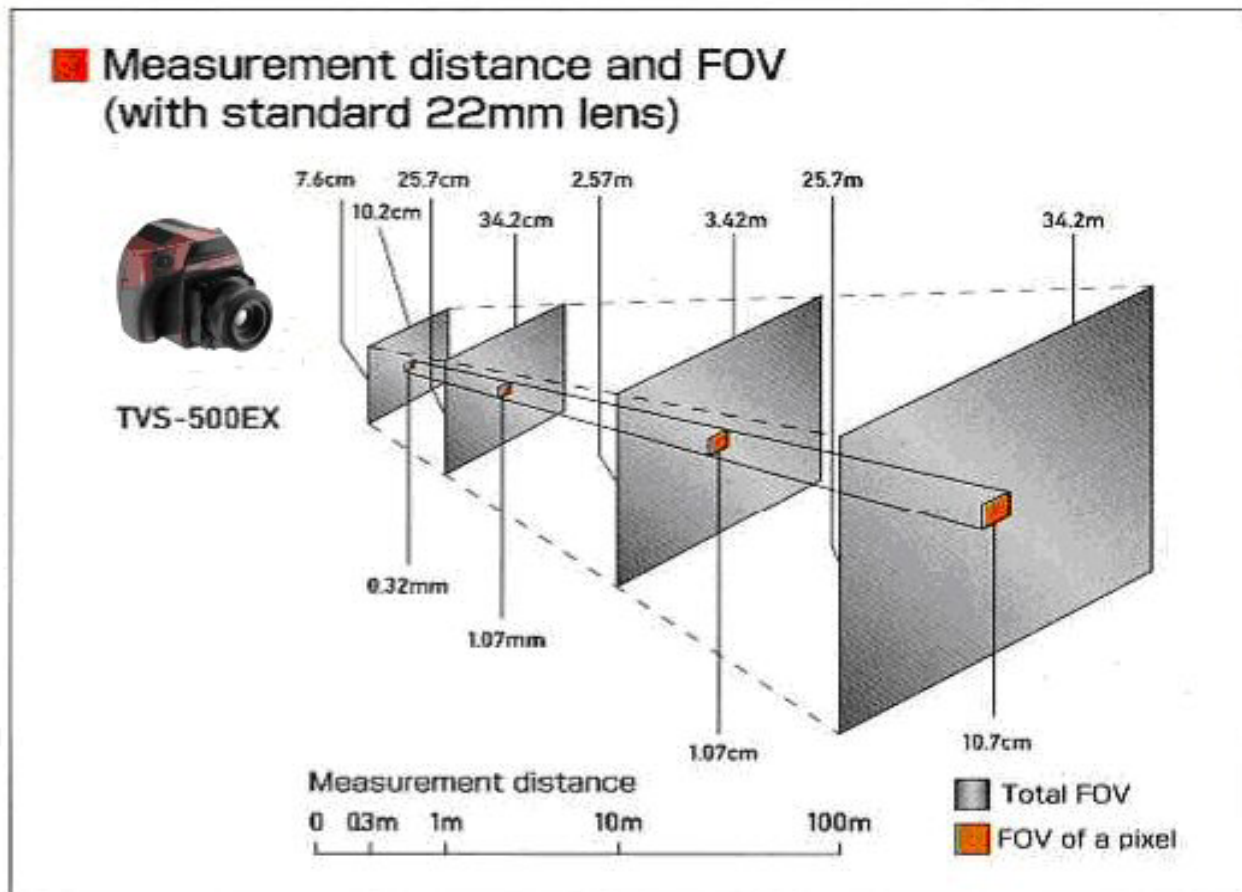


**E' possibile compensare con il software di post analisi i differenti valori di emissività impostando ad ogni area il valore corretto.**



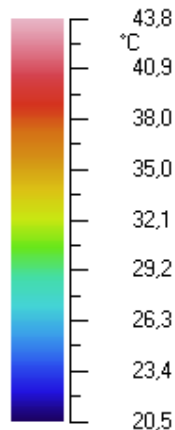
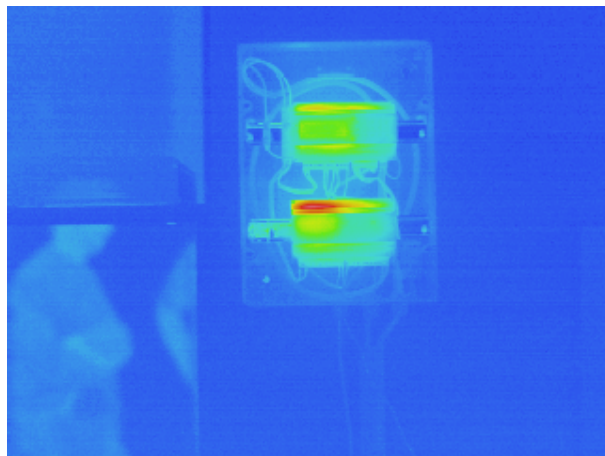
# Risoluzione geometrica di una termocamera

- Termocamera NEC Avio mod. TVS-500EX (con lente standard)

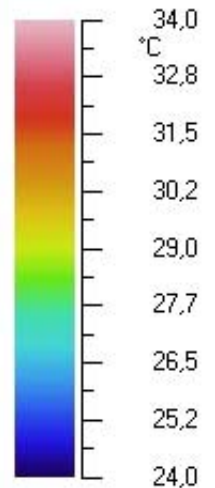
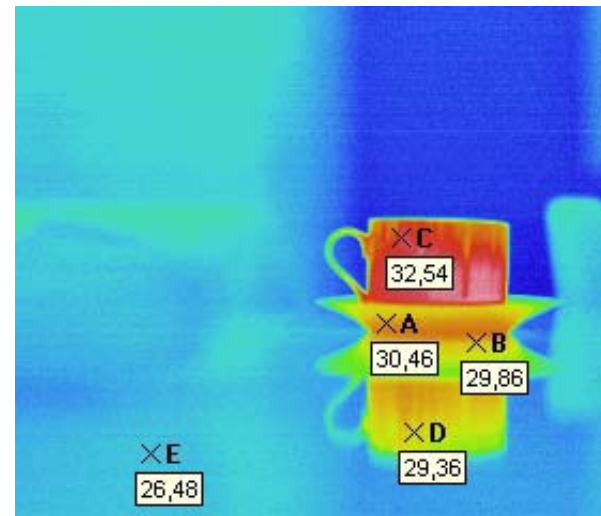


# Esempi di riflessione

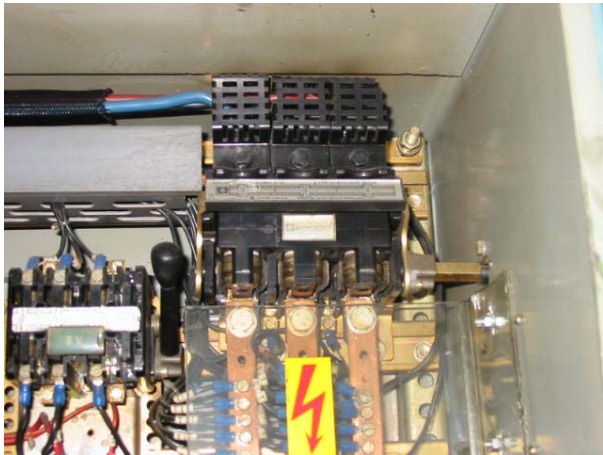
- In questa immagine è visibile la riflessione delle persone nel vetro della finestra.



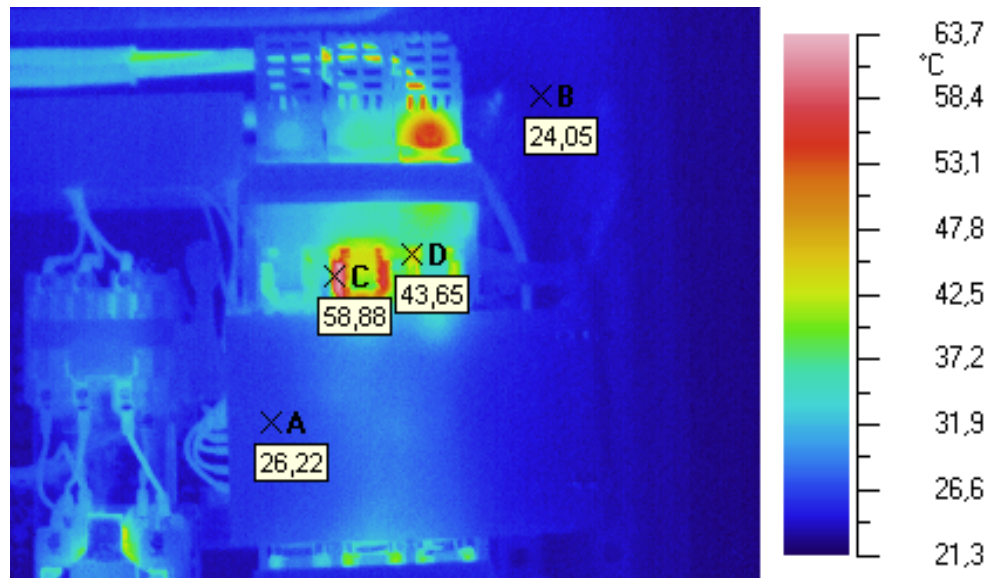
- Queste immagine termica evidenzia la riflessione sulla superficie lucida del tavolo di una tazza di caffè.



# Plexiglas (non trasparente al IR)

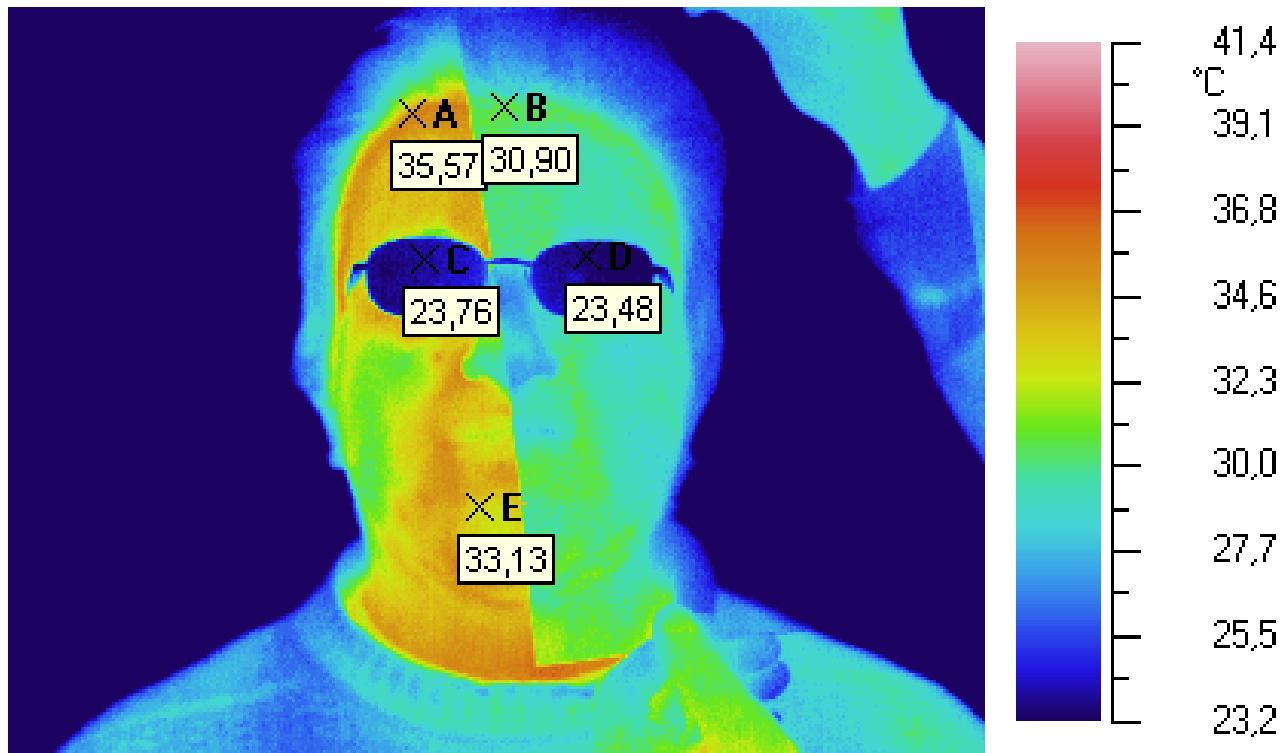


Il plexiglas non è trasparente alle onde elettromagnetiche dell'infrarosso, in questa immagine termica di un cabinet è evidente che sul plexiglas si misura  $26,22^{\circ}\text{C}$  che è una temperatura molto vicina all'ambiente  $24,05^{\circ}\text{C}$ , mentre il componente è a circa  $58^{\circ}\text{C}$



# Foglio di polietilene semitrasparente

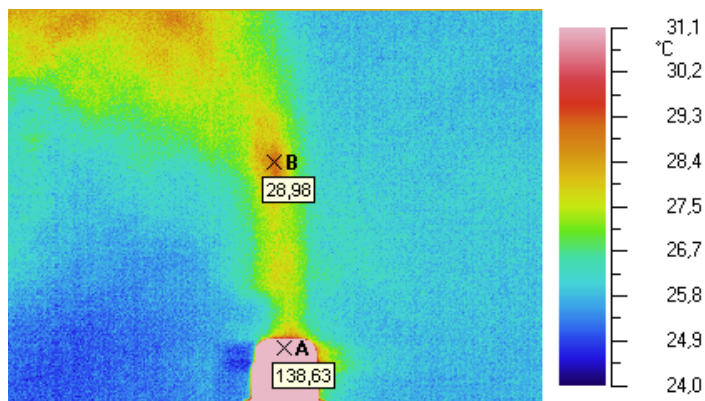
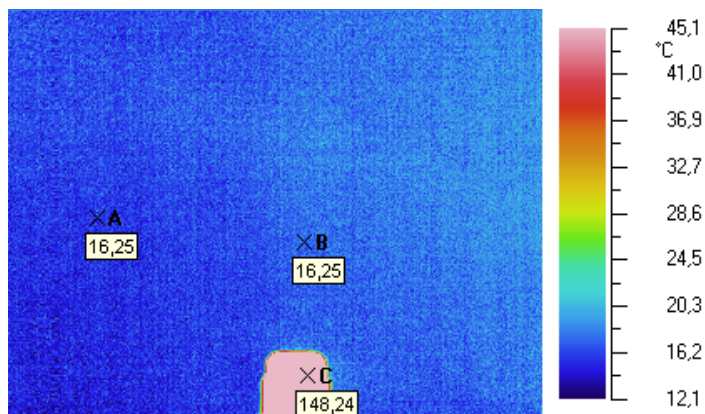
- Ponendo un foglio di polietilene davanti al volto si nota che si mantiene la visualizzazione dei contorni ma si ha una attenuazione della misura di temperatura che può essere superiore al 10% come valore assoluto.





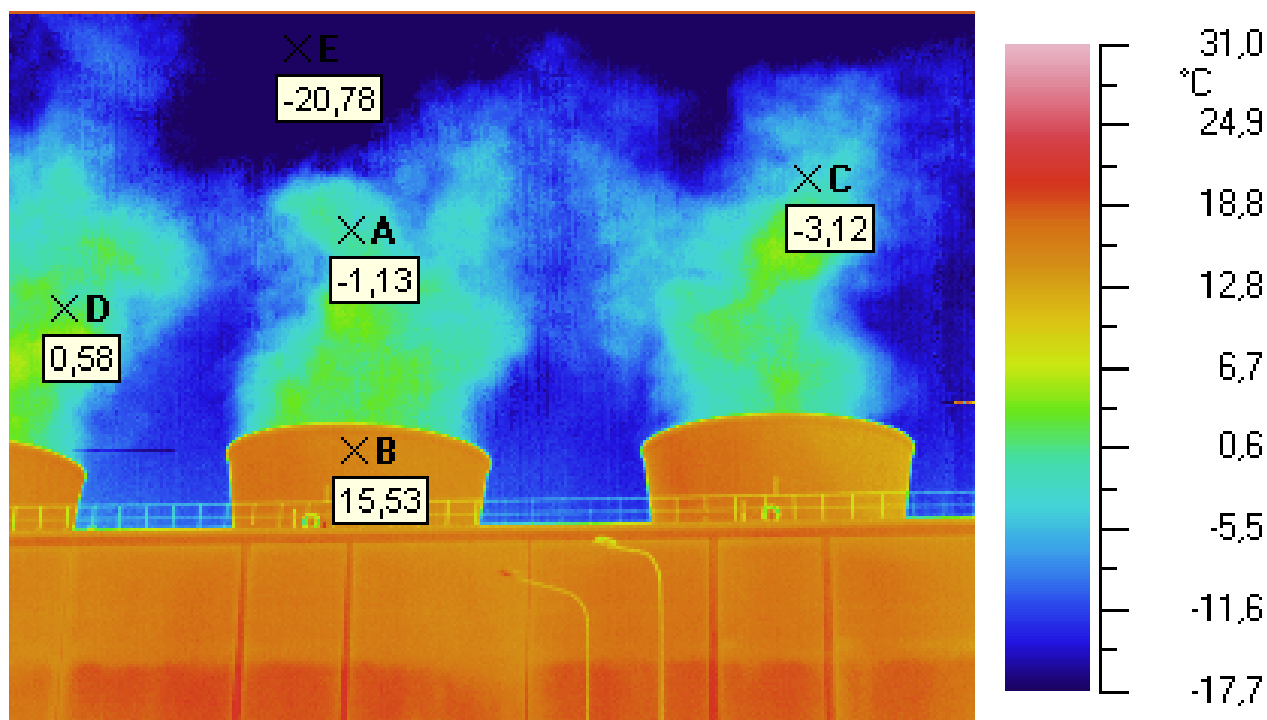
# L'aria è trasparente all'Infrarosso

- Nell'immagine termica sopra riprodotta si vede che l'aria calda in uscita dal riscaldatore non è visualizzabile, l'unico modo per la visualizzazione è di utilizzare del borotalco come elemento di riscaldamento.



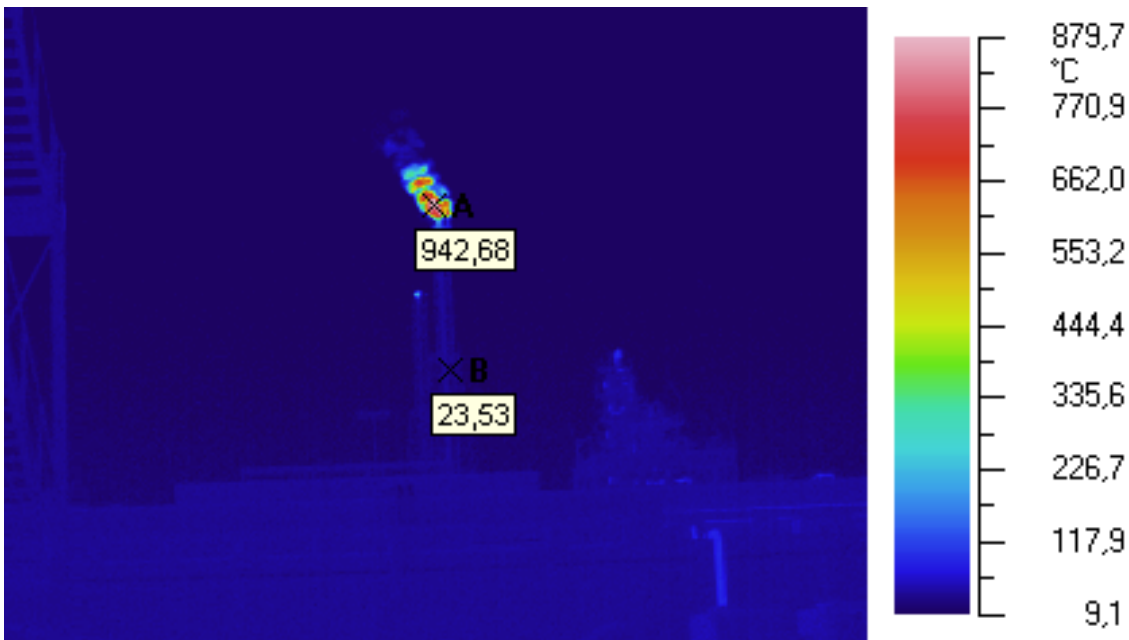
# Impossibilità della misura temperatura del vapore

- Anche il vapore è semitrasparente all'infrarosso. E' impossibile misurarne la temperatura poiché ha valori differenti di  $T$  ed  $\epsilon$  in funzione della densità e miscelazione con l'aria.



# Temperatura gas

- Nel caso di una torcia di una raffineria che brucia miscele di gas pesanti è possibile misurare con una certa approssimazione la temperatura di fiamma.



# Immagine termica ripresa da 400 miglia



New York City as captured from 438 miles up by Hughes thematic mapper aboard Landsat-4 satellite.

**Thermal imaging from 400 miles**

# Differenza immagine visibile Infrarosso

- L'immagine di sinistra ripresa nel visibile visualizza le auto, con le luci accese, ma non la montagna sullo sfondo, perfettamente visibile nell'immagine termica.



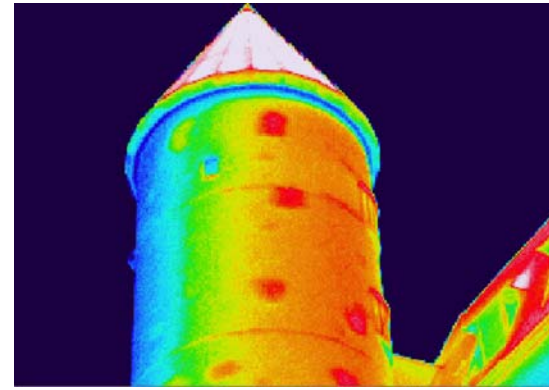
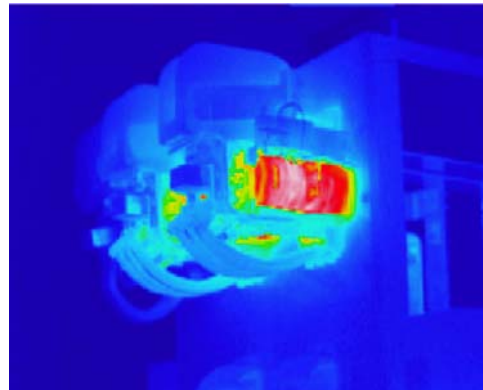
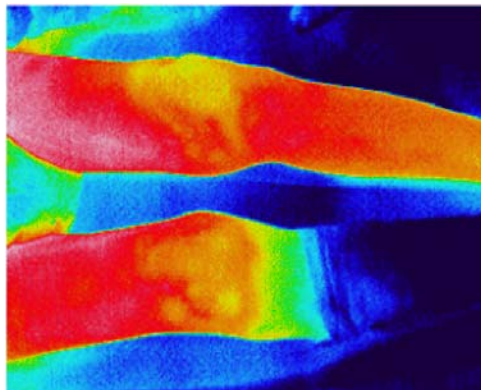
# Visione notturna

- In queste due immagini all'Infrarosso, riprese di notte, permettono di vedere chiaramente sia le persone su una imbarcazione che il motore di una barca.



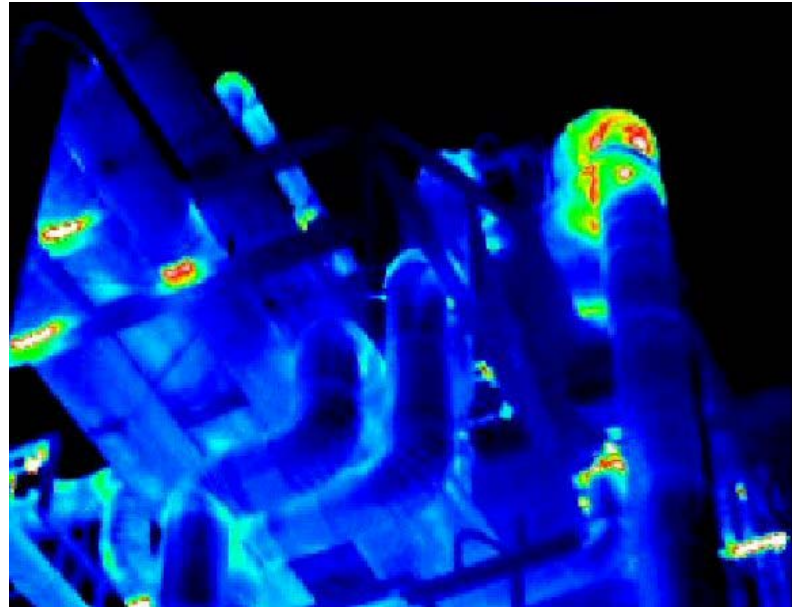
# Diagnosi mediante termografia

- La termografia normalmente permette di identificare l'anomalia mediante paragone delle temperature o distribuzioni termiche non regolari o senza alcuna ragione d'essere.



# Isolamento - tubazioni industriali

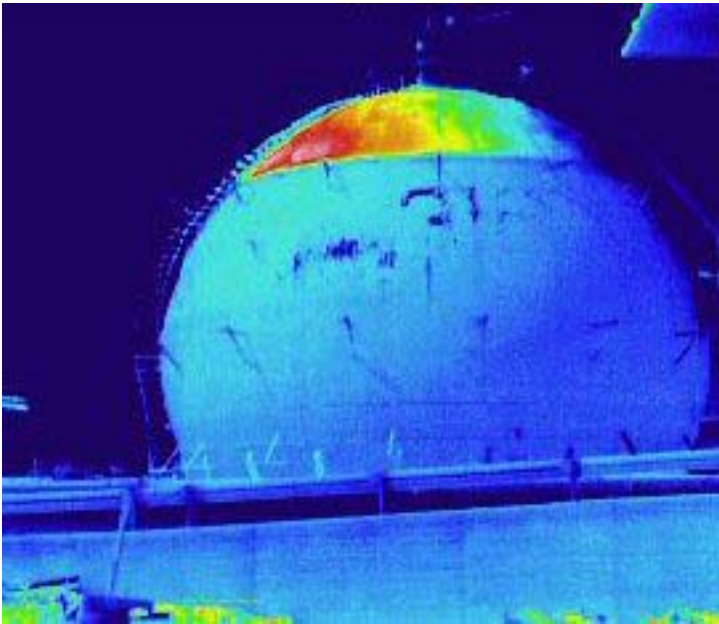
- Con la termografia è possibile individuare isolamenti deteriorati.
- La differenza di conducibilità termica o capacità termica appare sul termogramma come differenza di temperatura.





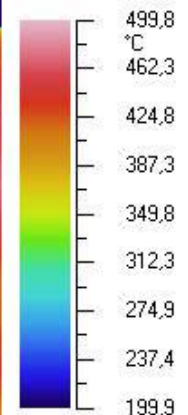
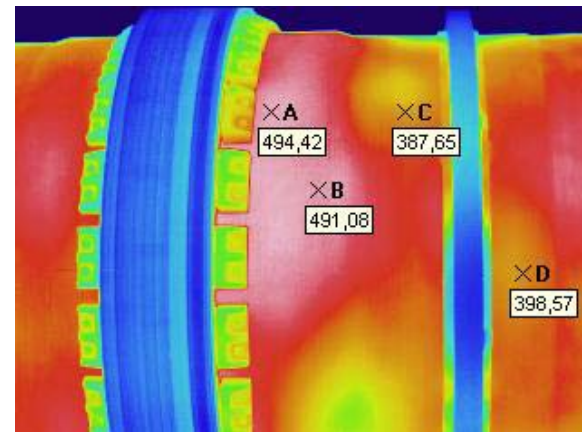
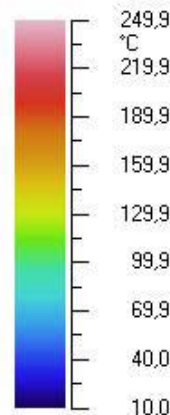
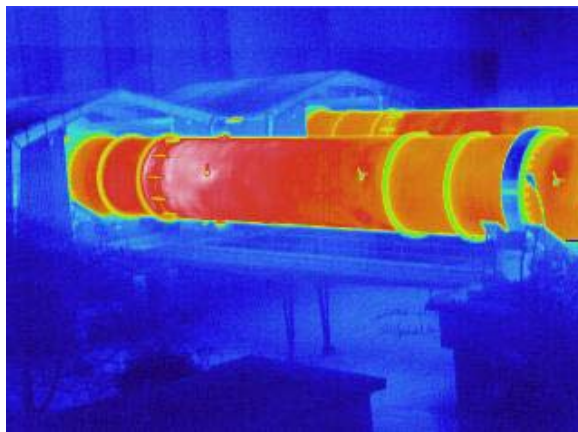
# Isolamento - serbatoi criogenici

- Nell'immagine termica di un serbatoio di gas liquido permette d'individuare oltre al livello del gas, eventuali difetti d'isolamento del mantello serbatoio.



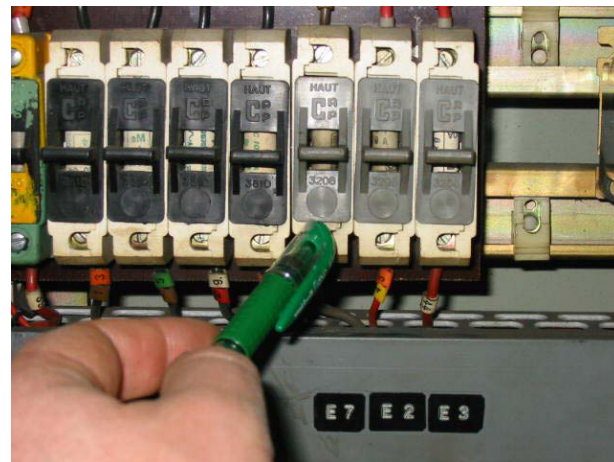
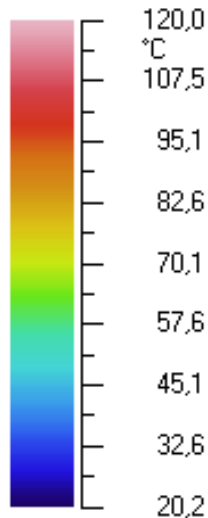
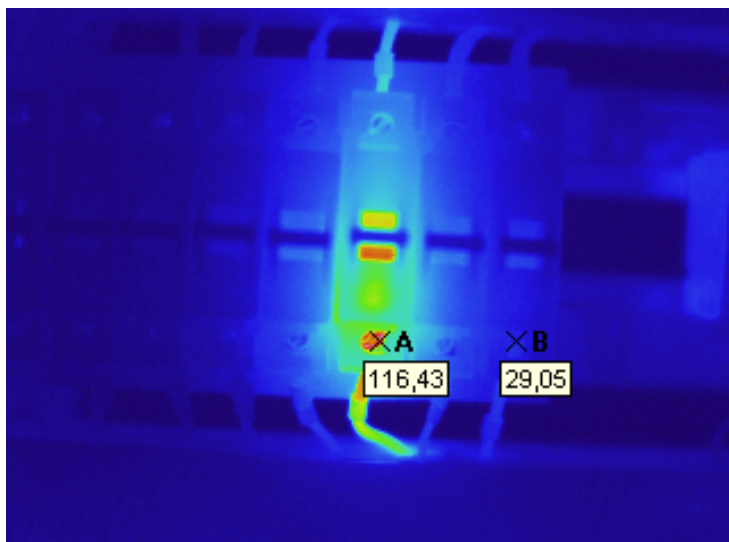
# Refrattario - Forni del cemento

- La mappa termica del mantello forno per produzione cemento permette d'individuare le zone con problemi di refrattario.



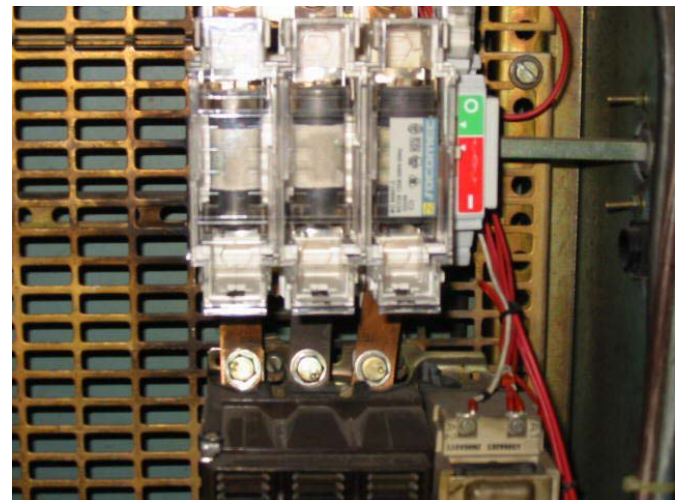
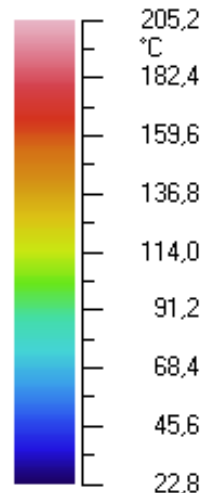
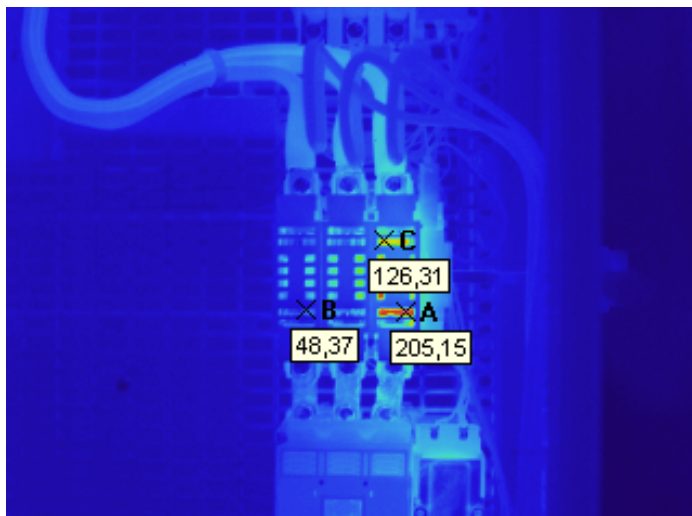
# Elettrico - Controllo quadri elettrici

- Il terzo teleruttore da destra ha un punto a  $116^{\circ}\text{C}$  a causa di un morsetto lento (il  $\Delta T$  di  $87^{\circ}\text{C}$  con il morsetto accanto indica un elevato grado di criticità). Con un semplice serraggio è possibile eliminare il problema.



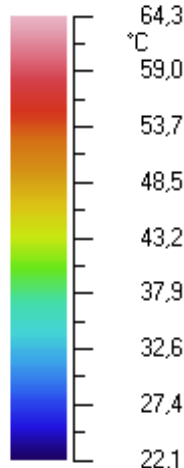
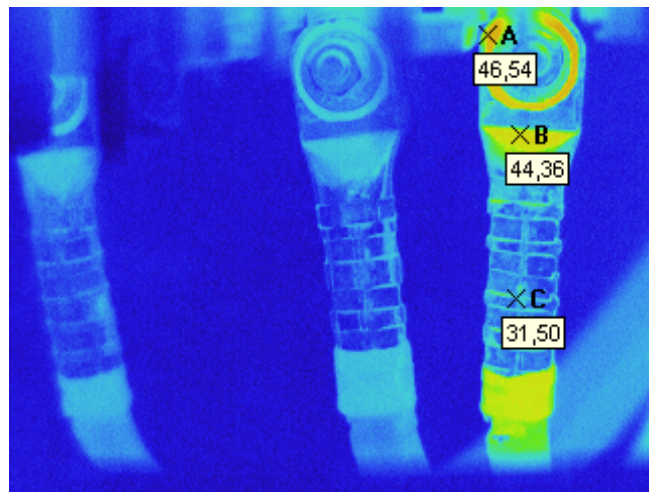
# Elettrico - Fusibile

- Il fusibile a destra ha un punto di contatto con temperatura di  $205^{\circ}\text{C}$  a causa di un contatto lento (il  $\Delta T$  di  $157^{\circ}\text{C}$  rispetto al componente alla sinistra indica un elevato grado di criticità).



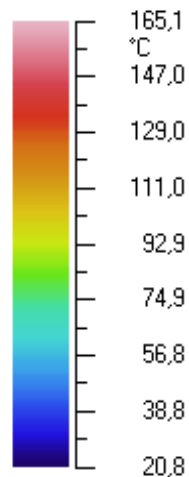
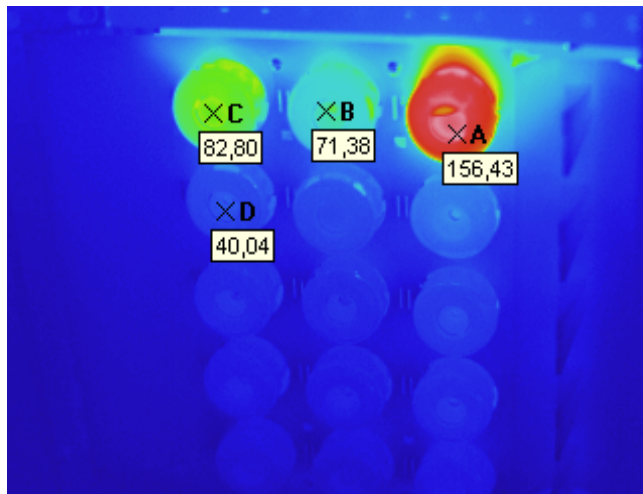
# Elettrico - cavo MT

- Surriscaldamento morsetto di MT.



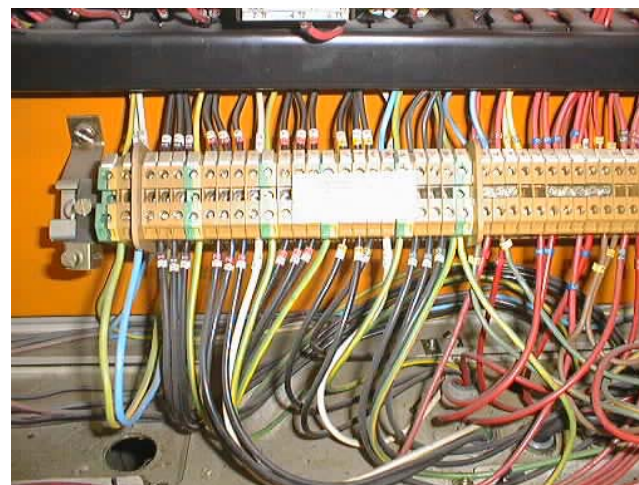
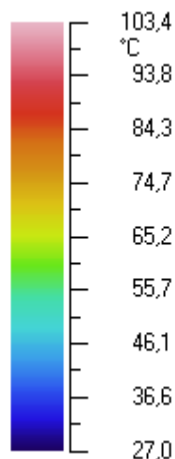
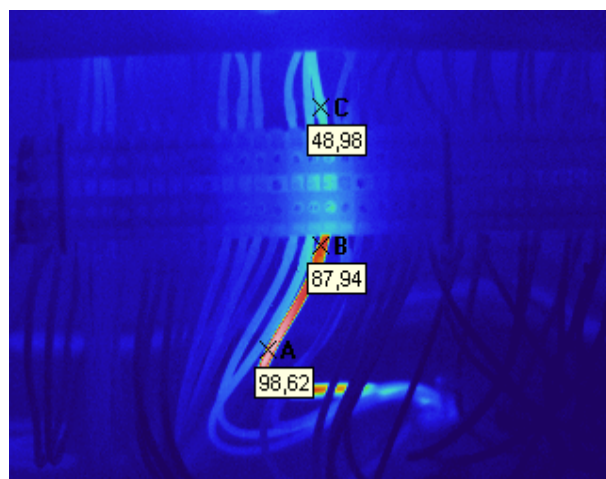
# Elettrico - fusibile

- Fusibile con sovratemperatura.



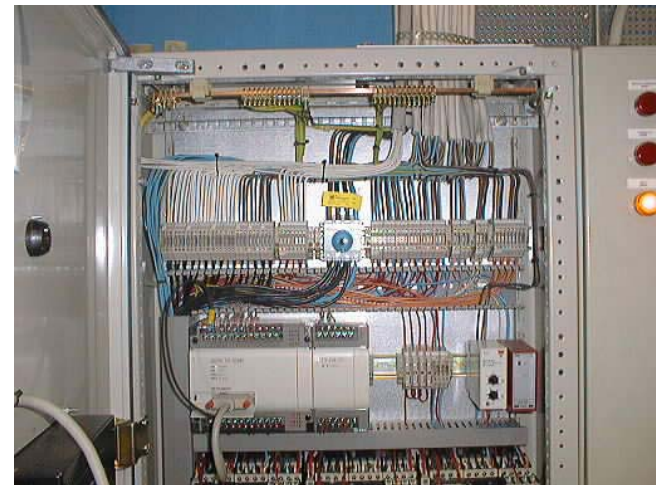
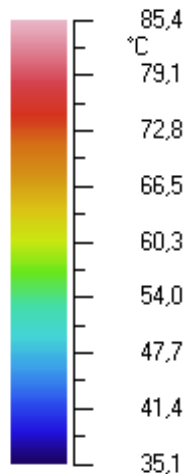
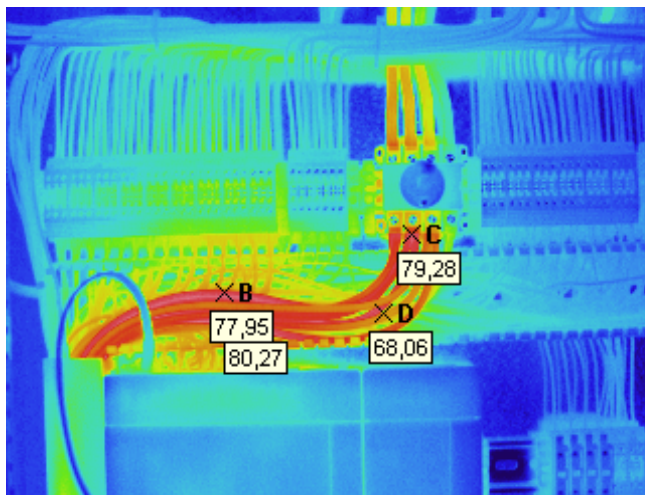
# Elettrico - cavo elettrico

- Il termogramma evidenzia un cavo elettrico surriscaldato per diminuzione della sezione.



# Elettrico

- Surriscaldamento di fascio di cavi.





# Manutenzione - Centralina oleodinamica

- Nell'immagine termica di sinistra la pompa olio ha una temperatura di  $91^{\circ}\text{C}$  che indica olio eccessivamente caldo, causa di degrado delle guarnizioni e delle caratteristiche di lubrificazione dell'olio. L'immagine di destra rappresenta un motore eccessivamente caldo ( $84^{\circ}\text{C}$ ) che indica un problema elettrico.

