

# Termografia e colore

*Interpretazione **problematica** della termografia .*

*Dall'immagine del termovisione all'effettiva mappa termica:*

*Il rivelatore infrarosso fornisce solo la **misura di radianza**, si può risalire alla temperatura se sono noti il valore di **emissività** e il **fattore di forma** punto per punto.*

*Il comportamento termico può presentare **differenze da punto a punto** anche per materiali omogenei in caso di **colore differente**. La temperatura può variare da punto a punto in funzione della energia localmente assorbita.*

*Questo è una complicazione per la diagnostica attiva di superfici affrescate. Pertanto è necessario includere la misura delle proprietà di assorbimento o almeno una stima ragionevole della sua influenza sulla temperatura.*

*Le aree di colore più scuro risultano più calde.*

## *Influenza del colore sulla termovisione*

*Interpretazione **problematica** della termografia*

*Il rivelatore infrarosso fornisce la **misura di radianza***

*Mappa termica dalla misura locale di radianza*

*La radianza dipende da*  $\left\{ \begin{array}{l} \text{emissività} \\ \text{fattore di forma punto per punto} \\ \text{ambiente circostante} \end{array} \right.$

*Il comportamento termico sarà differente, da punto a punto anche in caso di materiali omogenei, se la superficie presenta cromie diverse.*

## *Temperatura e colore*

### *La Temperatura di un corpo*

*varia da punto a punto in funzione della energia localmente assorbita*



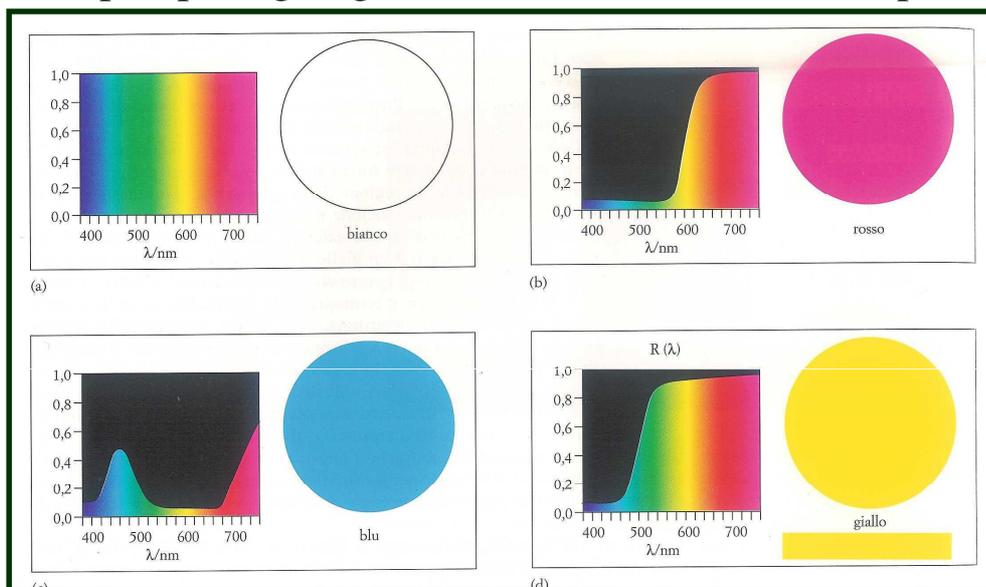
*ostacolo nella diagnostica di superfici affrescate*

*necessario includere la misura delle proprietà di assorbimento*

*almeno stima ragionevole dell'influenza sulla misura delle temperature (aree di colore più scuro appaiono più calde).*

### *Un dettaglio sul colore*

Corpo opaco giungono le radiazioni riflesse, trasparente le trasmesse.



*I corpi che riflettono tutte le radiazioni visibili per superfici non lucide, diffondenti, appaiono bianchi, grigi o neri a seconda della percentuale di radiazione riflessa (riflettanza).*

*I corpi che riflettono in percentuale diversa le radiazioni dello spettro avranno una tinta dovuta alla combinazione delle radiazioni riflesse*

### *Spettro di riflettanza Colore*

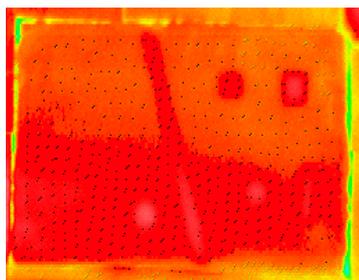
Combinazione delle radiazioni riflesse

Saturazione : minore o maggiore larghezza di banda spettrale riflessa, una tinta dovuta

Luminosità maggiore o minore a seconda della percentuale totale di radiazione riflessa.

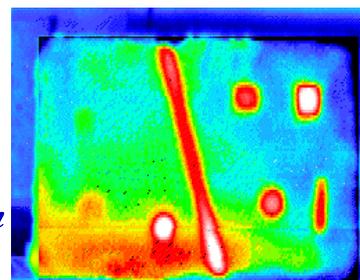
Radiazione riflessa.

*Esempio in laboratorio: mattone sul quale vengono provocati dei distacchi.*



*L'immagine a sinistra è come viene rilevato il mattone dalla termocamera.*

*A destra si ha il termogramma rispetto al contrasto termico con una zona sana.*



*Si può illustrare l'influenza del colore sulla rivelazione dei distacchi:*

*Giallo di Napoli*

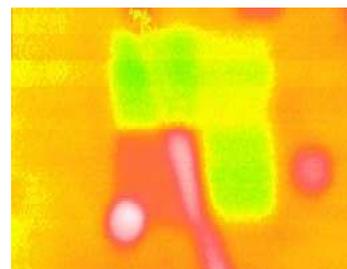
*Rosso di Cadmio Scuro*



*Blu di Cobalto*

*Grassetto di Calde  
(Bianco-San Giovanni)*

*Il mattone a sinistra ha un distacco (indicato con il tratteggio) ed è colorato con diverse cromie.*



*Con la termocamera sotto il colore giallo è invisibile.*

*La differenza dipende dal coefficiente di assorbimento della radiazione utilizzata come sorgente, il blu assorbe maggiormente e quindi la zona sottostante si riscalda di più.*

*Lo spettro di assorbimento è il complementare dello spettro di riflessione* ➔

## *Applicazioni ai mosaici.*

*L'interpretazione dei termogrammi è più complicata per variazione di emissività delle tessere dovuta a diversità dei materiali e alle diverse cromie.*

*Una differente temperatura potrebbe essere dovuta alle caratteristiche superficiali delle tessere : materiale, colore, ossidazione, vetri ...*

*Esempio di indagine termografica su una zona campione di S. Apollinare Nuovo a Ravenna.*

*Termocamere con SENSORE tipo short wave ( $\lambda = 2-5 \mu\text{m}$ ), raffreddato in azoto liquido.*

*Sorgente luminosa ad elevato contenuto di infrarosso.*

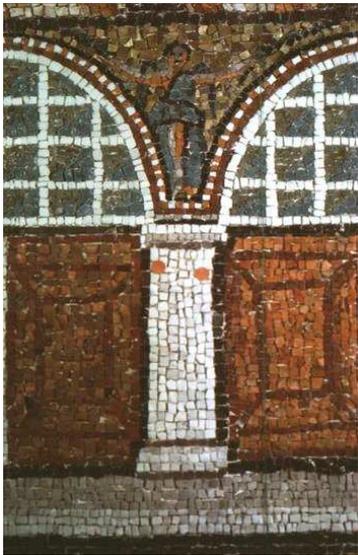
*Riscaldamento indotto tale da non superare l'escursione termica tra estate-inverno*

*Solo dopo aver sottratto tutte le influenze di "fondo" si potrà associare a  $T$  maggiore un distacco di strati di intonaco (spessori d'aria) ed invece  $T$  minore potrebbe individuare zone cementate.*

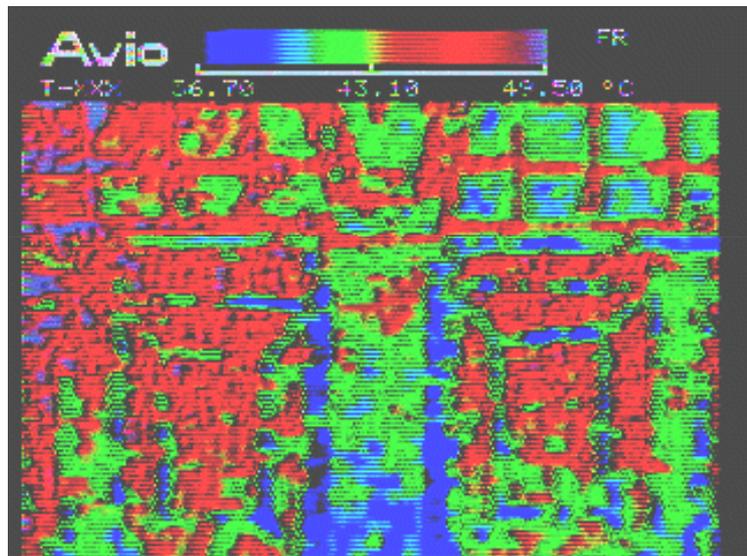


Possibili cambiamenti nella riflettanza in IR, dovuti alla variazione della composizione chimica della superficie delle tessere (maggiore presenza di ossido di ferro = maggiore riflettanza nell'IR).

Zona campione

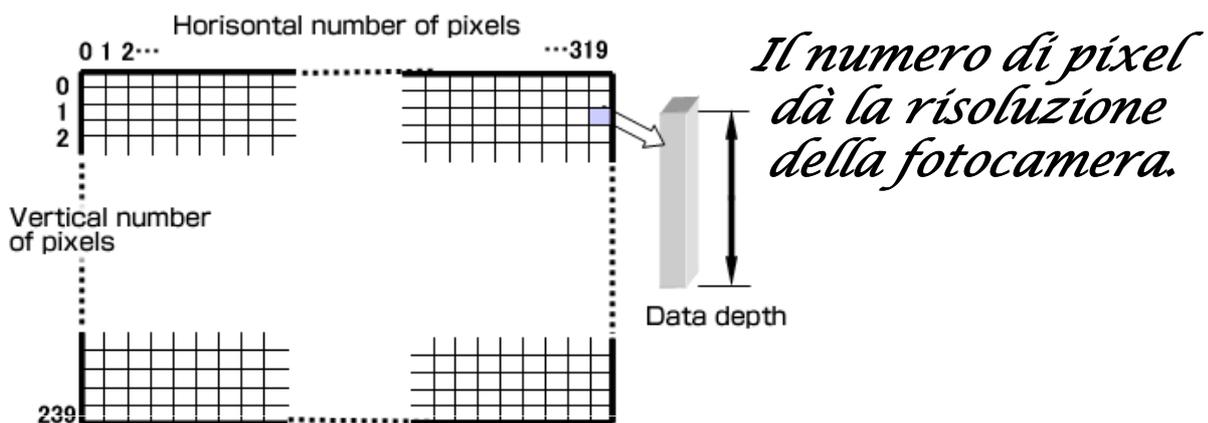


Termogramma durante il riscaldamento



Radianza misurata: emissione e riflessione

S. Apollinare Nuovo. Termogramma di una parte restaurata (metà 800).



*Per avere maggiori risoluzioni, si possono fare foto di varie parti "mosaicatura" e poi ricomporle.*

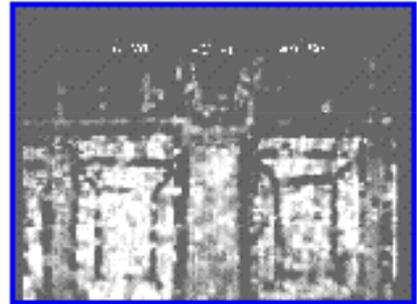
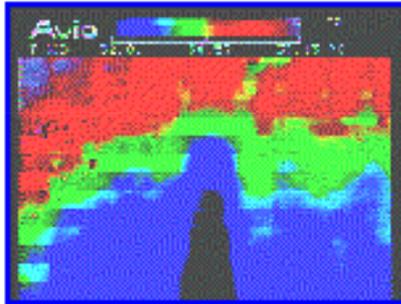
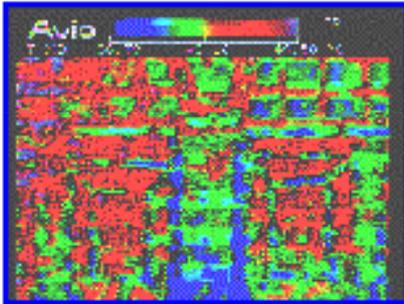
*Alcune termocamere sono equipaggiate anche con un sensore nel visibile: coregistrazione nel visibile e nell'infrarosso.*

*Altre invece hanno solo l'immagine infrarossa. Sarà necessario avere dei marcatori per individuare la posizione.*

*Termogramma durante il periodo di riscaldamento (solo 15' escursione massima inverno-estate)*

*Termogramma subito dopo lo spegnimento delle lampade.*

*Sottrazione digitale pixel per pixel tra il primo ed il secondo termogramma.*



*Lo spettro rilevato è la sovrapposizione di emissione e riflessione nell'IR*

*Fornisce informazioni sul contributo di emissione, quindi la mappa termica.*

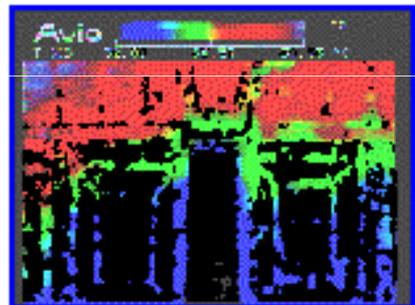
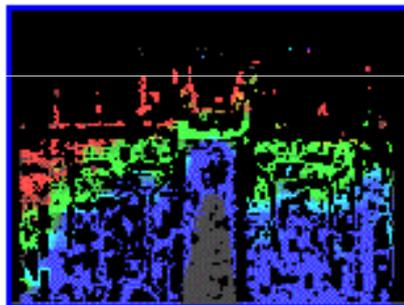
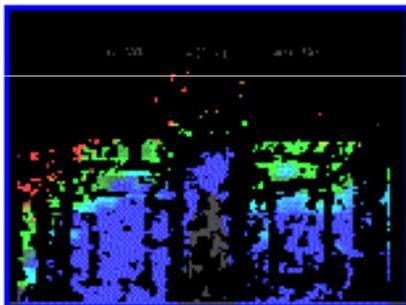
*Fornisce il contributo nell'IR della sola riflessione (riflettanza).*

*Si possono distinguere zone ad emittanza diversa*



*Per avere le zone ad emittanza diversa dobbiamo prendere il complementare dell'immagine in riflettanza (un corpo emette ciò che assorbe).*

*Zone ad emittanza diversa (in nero zone escluse).*



$\epsilon =$  Bassa media alta

*Nell'ambito della varie zone si possono distinguere zone con distacchi (intensità maggiori- T maggiori) o zone cementate (intensità minori- T minori).*

Le indagini sui mosaici sono di difficile applicazione, sicuramente su quelli complessi e variegati.

Presenza di materiali diversi superficiali, materiale di allettamento e adesione, nonché per i trattamenti di restauro diversificati nel tempo.

Problemi:

- Cromaticità
- Materiali delle tessere (interno e superficie)
- Superfici o rivestimenti metallici (ossidazioni)
- Vetrini di protezione.
- Malte varie

Attendibilità:

- Ancora scarsa
- Termogrammi di difficile lettura.
- Fruibili nel caso in cui le tessere siano omogenee, per materiale e storicamente.

### *1° ESEMPIO su piccola scala di utilizzo della Termografia*

#### ➤ *Oggetto sotto indagine:*

Chiesetta di S. Maria presso S. Paolo di Cantù (CO).

#### ➤ *Obiettivi:*

verifica del monitoraggio mediante IR:

interventi di restauro su superfici storiche  
(film protettivi, repellenti idrici, restauro della delaminazione di intonaci)

controllo di aree a rischio  
(rischi di condensa, infiltrazioni, ponti termici, finestre.)

#### ➤ *Evidenze:*

Degrado diffuso: verifiche preliminari hanno evidenziato infiltrazione dal basso e condensa sugli affreschi

Collegamento all'articolo

*“IRT monitoring in planned Preservation of built Cultural Heritage” E. Rosina et al.*

## *Indagine sull'oggetto e l'ambiente in cui vive.*



Figure 1: Façade of Santa Maria presso San Paolo in Cantù

Chiesetta costituita da una sola stanza.

Aperture solo su una facciata (SUD).  
Due lati liberi, e due inglobati nella  
struttura

Muratura in mattoni e prietrisco (ghiaia).

Rifiniture interne con affreschi  
(16° Sec di Cristoforo Motto e Giovanni  
Ambrogio da Vigevano).

La chiesa è sempre chiusa.

Non c'è sistema di riscaldamento o condizionamento.

*Ideale per le prove IR, in quanto piccola, per la scarsa disponibilità di fondi ed il costo elevato del restauro, necessità di individuare le zone più critiche.*

## *Osservazioni e constatazioni preliminari.*



Figures 2 & 3: (left) the frescoed apse before the restoration, damage is diffused at the basis of the wall and (right) the vault before the restoration, the fresco has stains due to many infiltrations

*Il danno maggiore è attribuibile all'umidità:*

*affreschi persi dal pavimento fino ad 1.70 m.*

*La parte nord e la volta risultano meno danneggiate.*

*Presenza di macchie dovute ad infiltrazioni di acqua.*

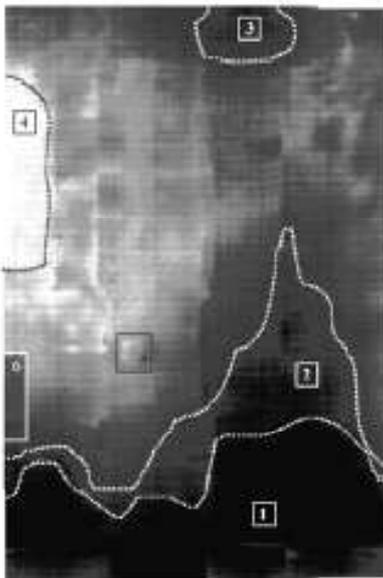
## Indagini per individuare i rischi e programmazione

### Numero minimo di indagini per individuare:

- sorgenti di infiltrazione dell'acqua
- rischi maggiori per gli affreschi (maggiore gradiente termico).

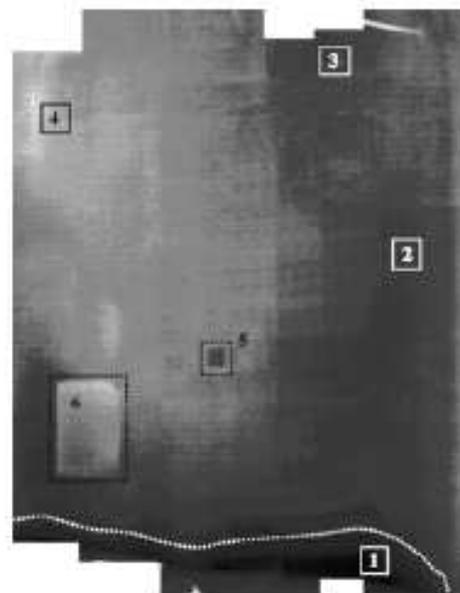
### Indagine programmate

- Mappe psicrometriche
- Misure di contenuto di acqua
- Termografia Infrarossa IRT
- Confronto tra indagine IR e misure di umidità



#### Termografia Passiva:

zone critiche (fredde)  
in condizioni stazionarie  
gradiente termico naturale.



#### Termografia Attiva (in raffreddamento)

1/2 h di riscaldamento convettivo ( $\Delta T=4\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
Distinzione tra condensazione o evaporazione.  
Maggiore omogeneità termica, fascia fredda 1  
risulta ridotta. I punti 2 e 3 ora sono omogenei.

4) Disomogeneità dovuta all'inserimento di un affresco in materiale diverso.

*Il confronto tra danno visibile e misure termografiche permette di ipotizzare, che si abbia maggiore rischio, dove si instaura l'effetto della condensazione (superfici più fredde).*

**Analisi di contenuto d'acqua nelle murature con tecniche gravimetriche:**

*Sono state effettuate delle misure gravimetriche di confronto, che hanno riportato un contenuto di acqua nella muratura in generale molto basso.*

*Nella parti più rilevate come più fredde dalle analisi dei termogrammi si è riscontrato una maggiore presenza di acqua.*

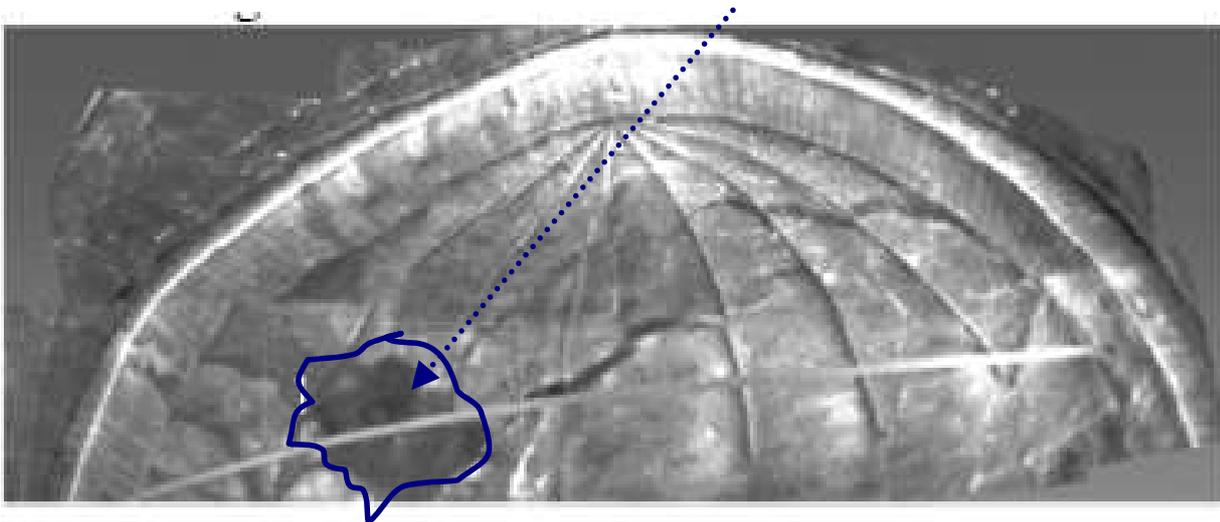
**L'abside risulta a rischio di umidità per condensazione e risalita capillare dalle infiltrazioni nei punti di connessione tra le mura medievali e la chiesetta del 15° secolo.**

**La parte esterna dell'abside nella zona inferiore non riceve irraggiamento solare.**

Foto con  $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  dell'aria, in riscaldamento

*Vari punti "caldi" attribuibili a distacchi.*

**Zona più fredda attribuibile (dalle indagini successive) ad un restauro.**



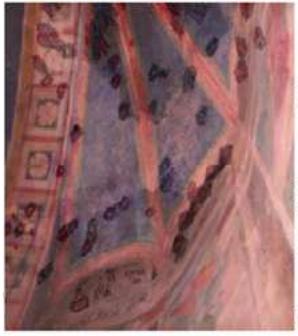


Figure 11: Scheme of the consolidant intervention by the restorator



Figure 9: The vault during the last phase of the restoration

Consolidante è stato applicato nei punti di maggiore  $T$  sul termogramma.

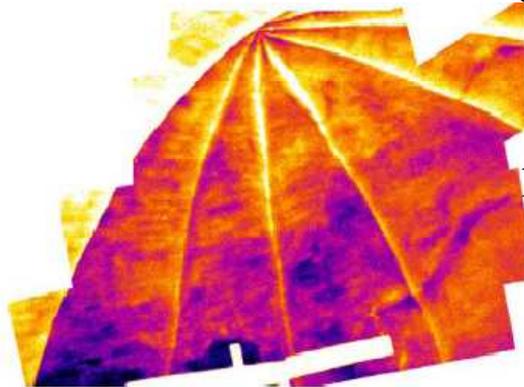
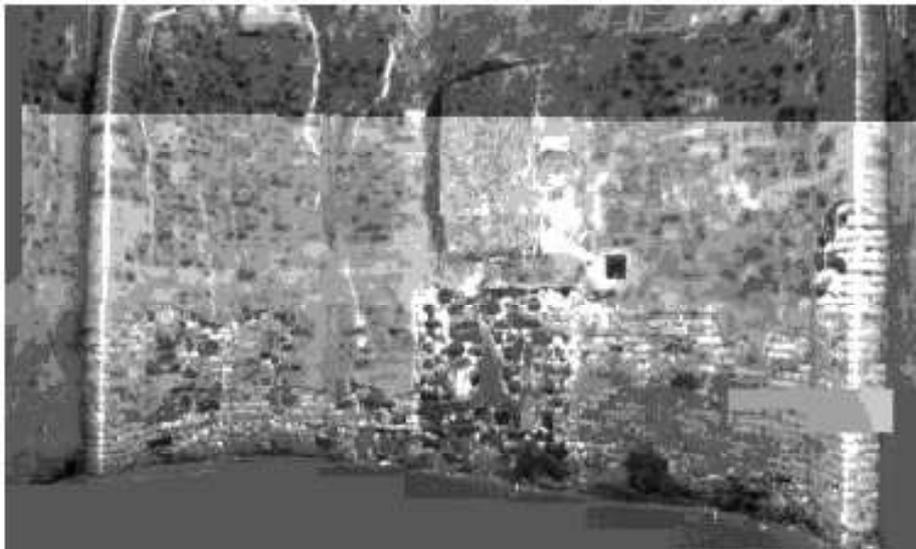
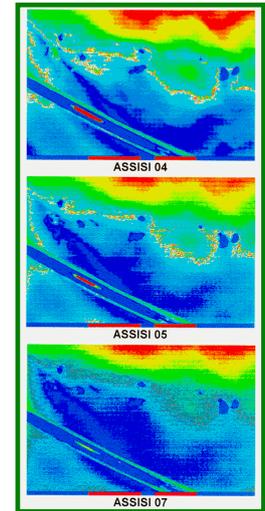


Figure 10: Mosaic of the thermograms: the colder areas correspond to the consolidant injected beneath the plaster

Dopo l'intervento i punti prima caldi ora risultano infatti freddi.

*Applicazione di collanti e montiraggio in tempo reale.*



*Foto ripresa durante la fase di raffreddamento.*

*Il pietrisco sembra ad una temperatura superiore*

*rispetto alla malta, mentre i mattoni sono rilevabili con difficoltà.*

*Il tempo di raffreddamento dei mattoni e della pietra è differente.*

*La disomogeneità dell'intonaco influenza la lettura. Perciò la misura è stata fatta 40' dopo la fine del riscaldamento.*

Tessitura muraria uguale  
tra parte inferiore e superiore,

## *Risultati sull'esempio in piccola scala della Termografia*

- Dettagliata conoscenza della struttura per identificare punti a rischio, problematiche su materiali differenti, parametri da tenere sotto controllo per evitare l'aumento dei difetti.
- Studio sul modo migliore di usare la struttura.
- Un sistema di controllo sugli interventi.
- Verifiche ripetute per monitorare effetti anche peggiorativi.
- **Approccio passivo** evidenzia il gradiente superficiale dovuto all'umidità o elevate differenze termiche.
- **Approccio attivo**: dipende dal tempo di riscaldamento nel tempo i risultati attesi sono:
  - 1°: differenze dei costituenti le malte.
  - 2°: differenze maggiori sui materiali in superficie (pietre o malte).
  - 3°: (condizionato dallo spessore dell'intonaco e le sue proprietà): tessitura del muro.
  - Evidenza di fenomeni evaporativi.

### **2° esempio rilevazioni su affreschi <sup>1</sup>**

Cattedrale di Parma Parete destra della Cappella Centoni.  
condizioni climatiche costanti

(per la conservazione dei dipinti, affreschi sculture, **attenzione ... energia**)



Affreschi in chiaro scuro  
Di Francesco Maria  
Rodani (1490-1550).

Visibile stato di degrado.

<sup>1</sup>G.A. Andreotti et al. Sperimentazione di tecniche di telerilevamento nell'infrarosso [RELAZIONE](#)

Parete sinistra.



Marcatori bianchi,  
In quanto si è  
utilizzata una  
fotocamera IR, non  
dotata di sensore nel  
dominio del visibile.

Intervallo spettrale  
8-14  $\mu\text{m}$ .

Fuoco da 50 cm a infinito  
Pixel immagine 320 (H) x 240(V) pixel

Ottima risoluzione del sensore, ma misure prese in condizioni critiche.

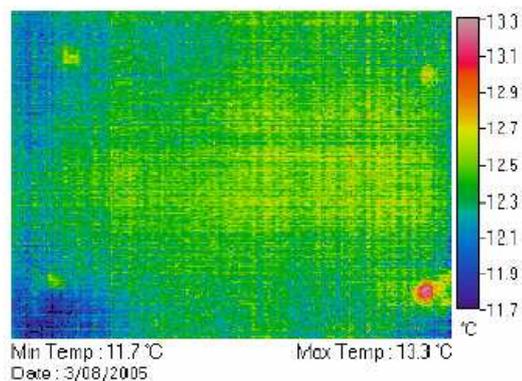
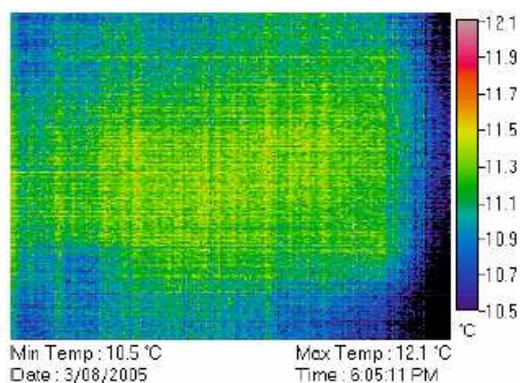
Temperatura della cattedrale costante  
a 16 °C e di poco inferiore la notte.

Distanza di ripresa 2 m, scena ripresa 1 x 0.80 mq,  
Risoluzione geometrica 3.13 mm x 3.33 mm.

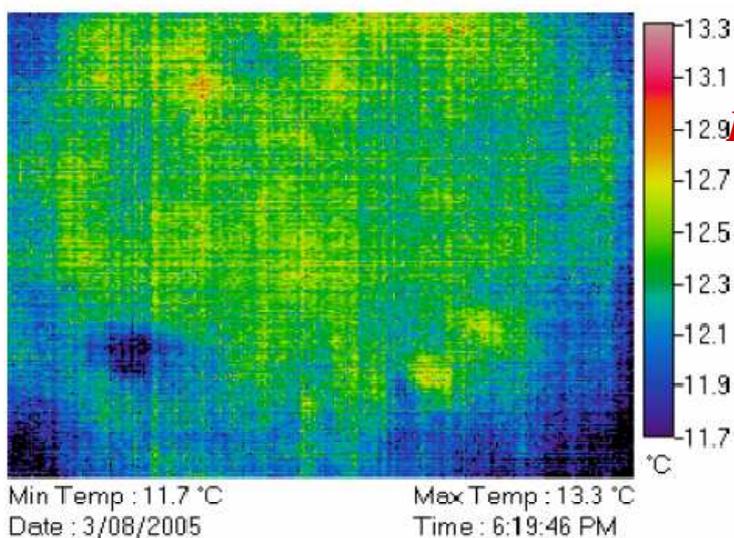
Utilizzo di marcatori riscaldabili, in quanto si è utilizzata una  
fotocamera IR, non dotata di sensore nel dominio del visibile.

Ripresa a  $T$  ambiente

Ripresa a marcotari riscaldati.



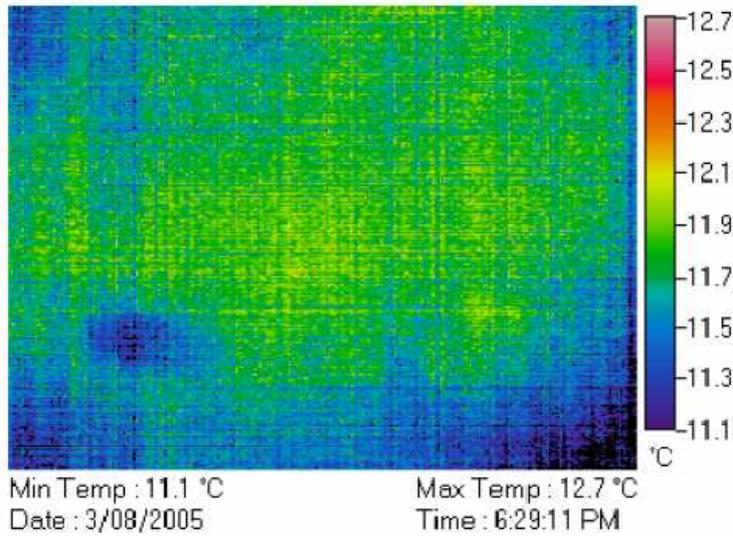
Riscaldamento della parete con lampada ad infrarossi per 10'.



*Immagine subito dopo lo spegnimento della sorgente di calore.*

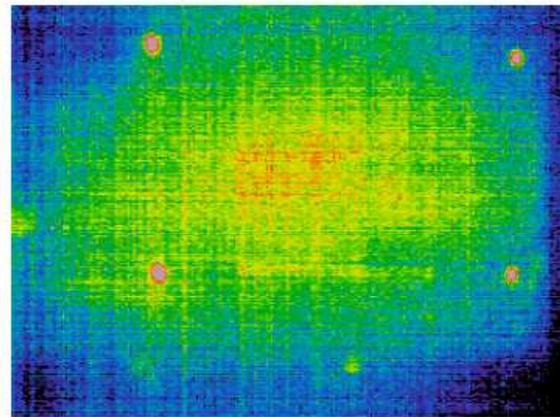
**Fig. 5** immagine a massimo caricamento, sulla destra la *palette* con i valori assoluti di termia

Riprese fotografiche successive ogni 120 s.

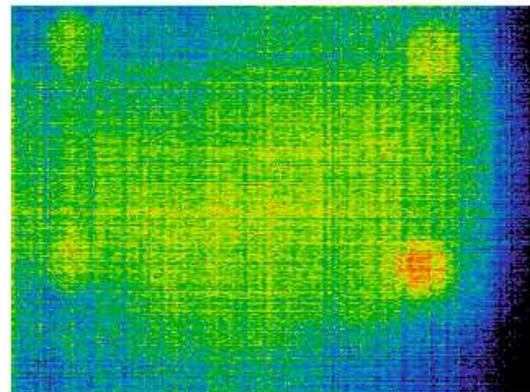


Termogramma dopo il completo rilascio dell'energia accumulata nella fase di riscaldamento (~10' dopo).

**Fig. 6** immagine dopo il rilascio



**Fig. 7,8:** immagini coregistrate lato sx della cappella



**Fig. 9,10:** immagini coregistrate lato dx della cappella.

Immagini significative *quelle subito dopo il riscaldamento* e *quelle dopo il rilascio di energia.*

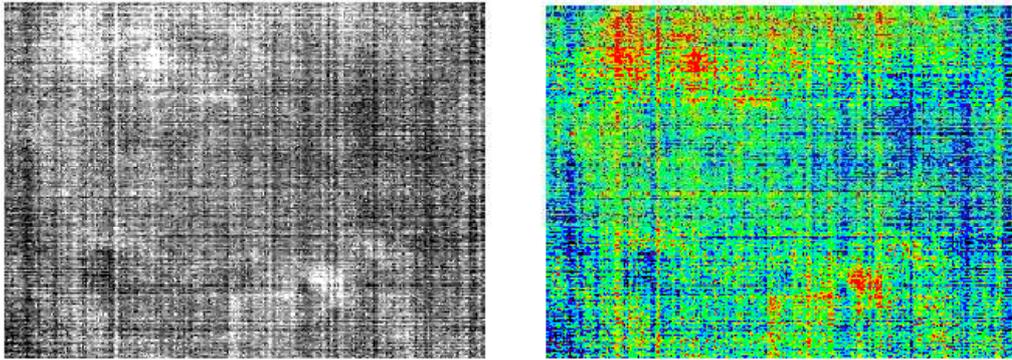
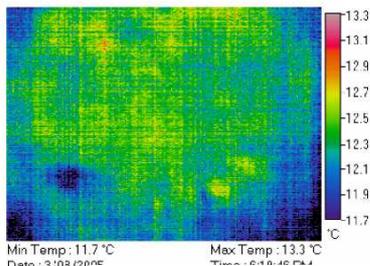


Fig. 11,12: differenza di temperatura fra l'immagine dopo il riscaldamento con la lampada ad infrarossi e l'immagine al termine del rilascio della temperatura accumulata, monocromatica e classificata con una palette di colori simile alle precedenti. In rosso si evidenziano le aree con il  $\Delta t$  maggiore

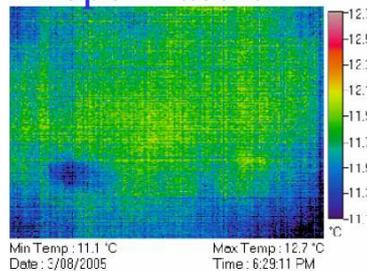
Immagini utili: *subito dopo il riscaldamento*, *dopo il rilascio*

Dopo riscaldamento



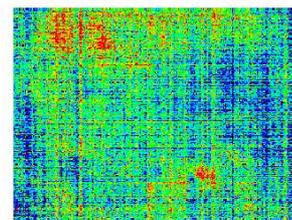
a)  
↻ max : 11.1  
min: 13.1  
media: 12.21

Dopo rilascio



b)  
↻ max: 10.5  
min: 12.3  
media: 11.6

Differenza  $\Delta T$



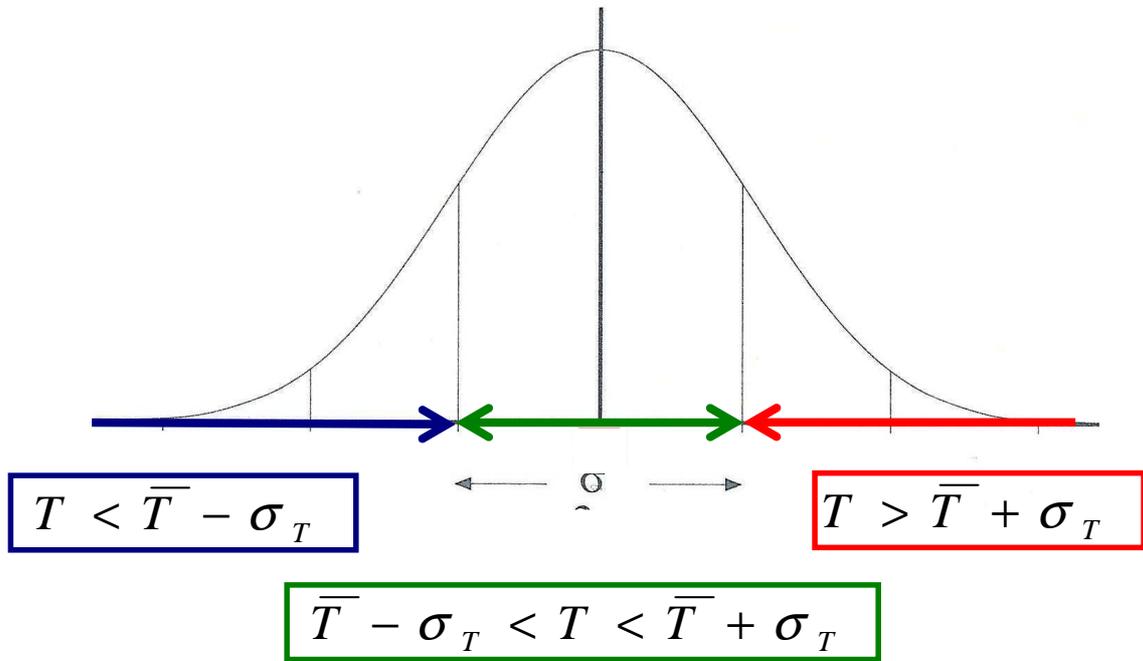
c)  
max: 1.5  
min: 0.00  
media: 0.62

Si distinguono 3 intervalli di T significativi in ogni termogramma:

Intervallo  $T < \bar{T} - \sigma_t$  colore

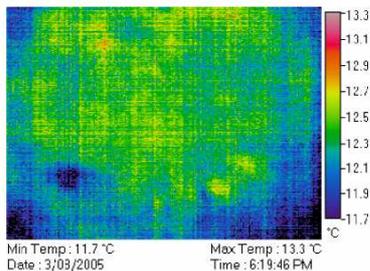
intervallo  $T > \bar{T} + \sigma_t$  colore

Intervallo  $\bar{T} - \sigma_t < T < \bar{T} + \sigma_t$  colore



Classificazione delle immagini con gli intervalli di  $T$  definiti.

*Subito dopo il riscaldamento, appena spenta la lampada ad IR.*



max : 11.1  
 min: 13.1  
 media: 12.21

$\bar{T} =$

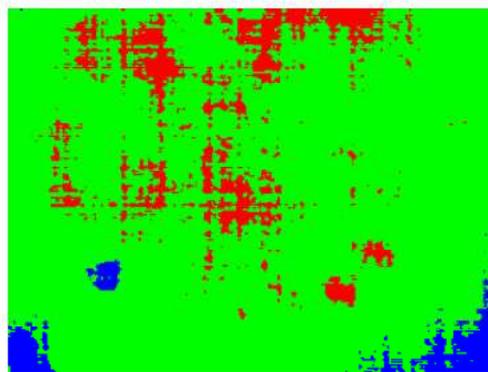
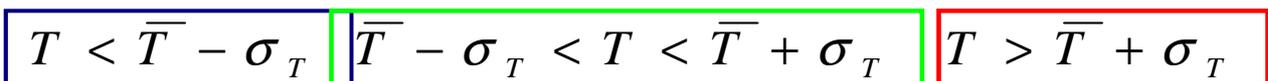


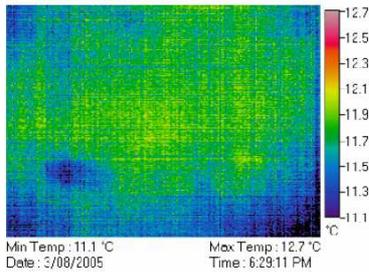
Fig. 13 classificazione dell'immagine termica dopo il riscaldamento

L'immagine viene

quindi trattata e si ha una immagine a soli tre colori  
 $\bar{T}$  e  $\sigma_T$  sono calcolate dal termogramma relativo.



*dopo il rilascio di energia*



b)

max: 10.5

min: 12.3

$\bar{T}$  = media: 11.6

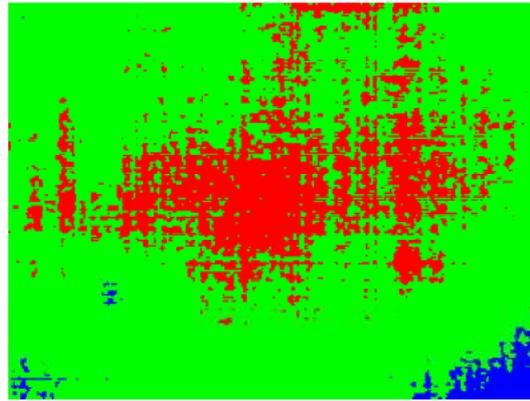
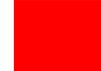


Fig. 14 classificazione dell'immagine termica dopo il raffreddamento

L'immagine viene trattata come prima.

La  $\bar{T}$  e  $\sigma_T$  sono quelle calcolate per l'immagine relativa.

*La classificazione dei colori corrisponderà a valori diversi da quella precedente*



$T < \bar{T} - \sigma_T$	$\bar{T} - \sigma_T < T < \bar{T} + \sigma_T$	$T > \bar{T} + \sigma_T$
--------------------------	---	--------------------------

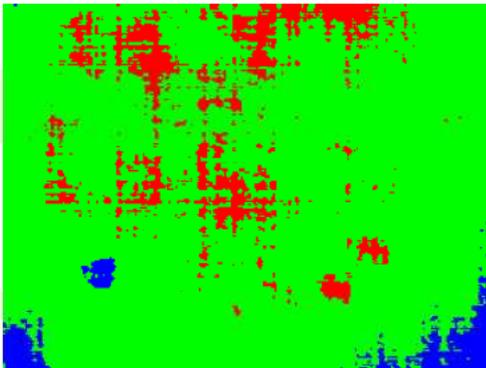
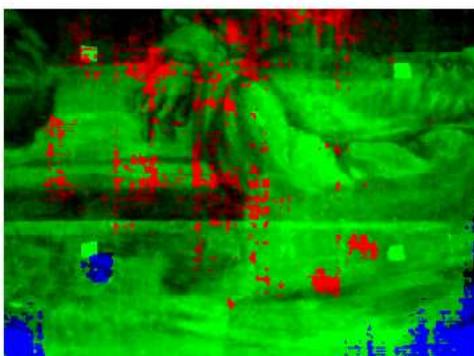


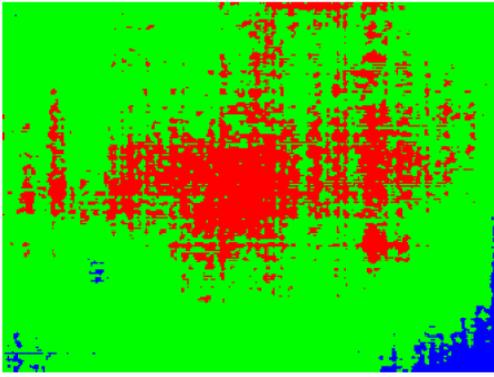
Fig. 13 classificazione dell'immagine termica dopo il riscaldamento

*Dal l'immagine relativa a subito dopo il riscaldamento si evidenziano i punti di distacco come più caldi, i punti più freddi (flussi evaporativi).*

Sovrapposizione dell'immagine termica con quella visibile per la localizzazione del danno.

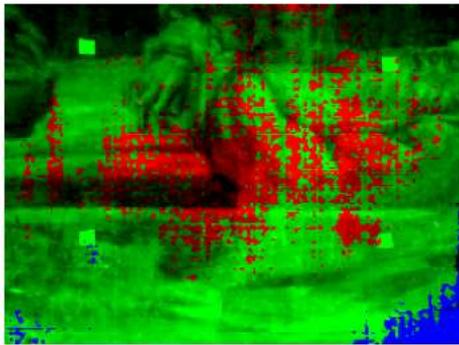


- possibile massimo distacco
- zone a mancanza di intonaco o a forte umidità



*Dalla foto dopo il rilascio si evidenziano  
Possibili punti critici per il distacco.*

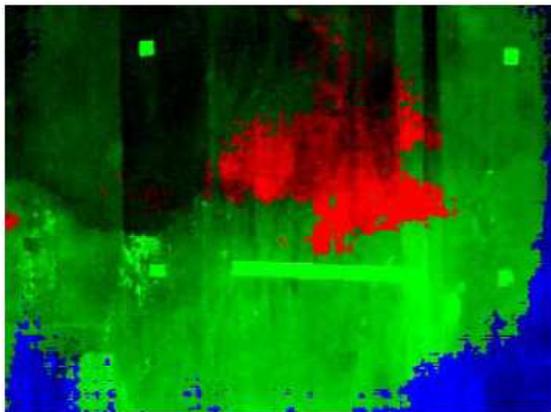
Fig. 14. classificazione dell'immagine termica dopo il raffreddamento



■ situazione di criticità per il distacco

*Sovrapposizione dell'immagine termica con  
quella visibile per la localizzazione del danno.*

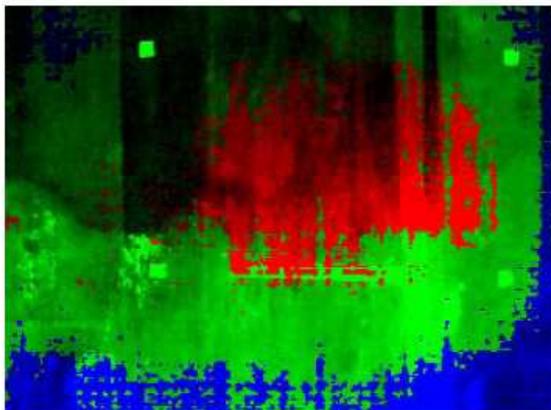
Parete sinistra



*Sovrapposizione dell'immagine termica con  
quella visibile per la localizzazione del danno  
(subito dopo il riscaldamento).*

■ possibile massimo distacco

■ zone a mancanza di intonaco o a forte umidità



*Sovrapposizione dell'immagine termica con  
quella visibile per individuare punti critici  
(dopo il rilascio).*

■ situazione di criticità per il distacco

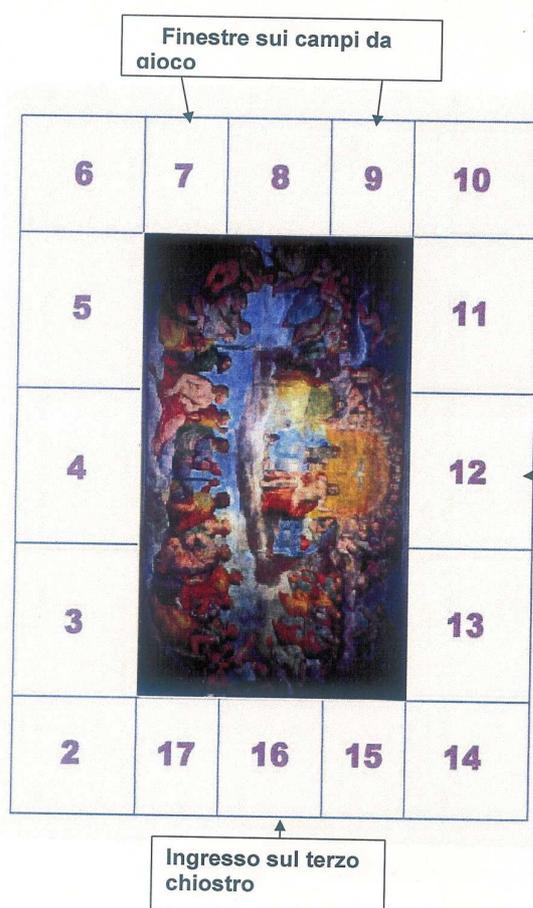
## 2° esempio conclusioni

Ottime risposte per le pareti affrescate

- Accuratezza del risultato.
- Semplicità di utilizzo.
- Non invasività dell'intervento.
- Standardizzazione delle elaborazioni.
- Gestione numerica di un archivio storico dello stato di conservazione.

Previsioni per un progetto operativo

- Approfondimento sulle modalità di ripresa.
- Utilizzo di termocamere con ottica per riprese nel visibile.
- Monitoraggio in tempo reale.
- Sistema di acquisizione dati remoto.
- Maggiori misure igrometriche almeno sul microclima.



## 3° esempio riprese IR e Visibile

Indagini termografiche  
di un affresco nell'antirefettorio di  
S. Benedetto a Ferrara.  
Dielai e Settevecchi 1578.

Condizioni degradate (velinatura sostenitiva).

Sorgente termica  
convettiva  
(23 kW, 1200 mc/h)

Figura 18: la Sala Pomposia suddivisa nelle 17 nicchie di riferimento con il grande affresco nel mezzo.

Termocamera con  
rivelatore bolometrico del tipo  
long wave (8-14  $\mu\text{m}$ ) e con  
risoluzione  $\pm 0.08$  °C



## Condizioni climatiche

Prima del riscaldamento  
9.8 °C, U.R. 75%  
dopo il riscaldamento  
18 °C, U.R. 54%  
2 h di riscaldamento.

Le lesioni sembrano partire dai costoloni laterali oltre a dividere le nicchie, forse sono strutture che indurrebbero stress.

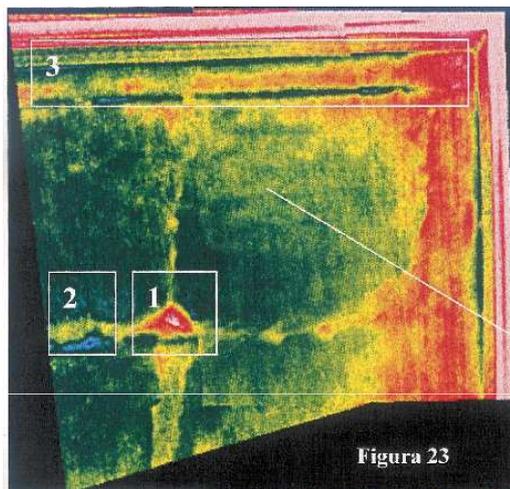
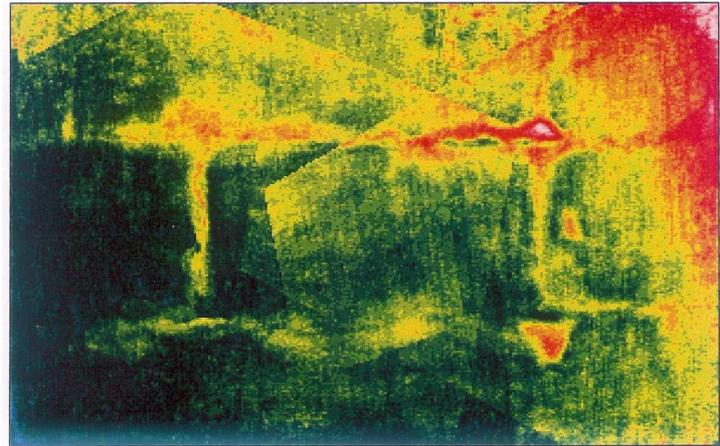
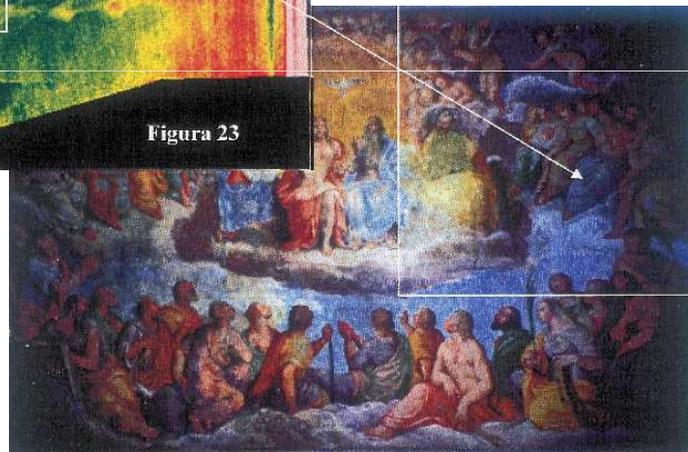


Figura 23

- 1) evidente distacco
- 2) Umidità o ponte termico
- 3) Struttura di sostegno



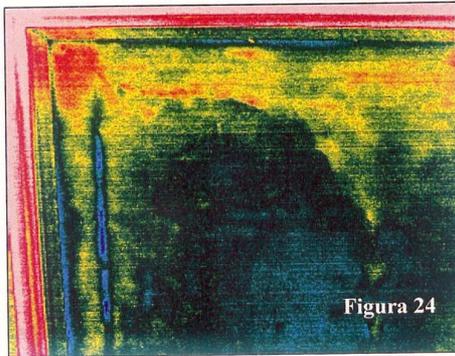


Figura 24

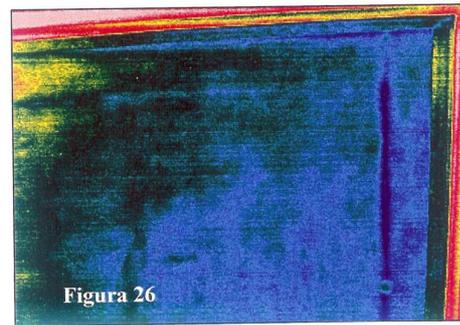


Figura 26

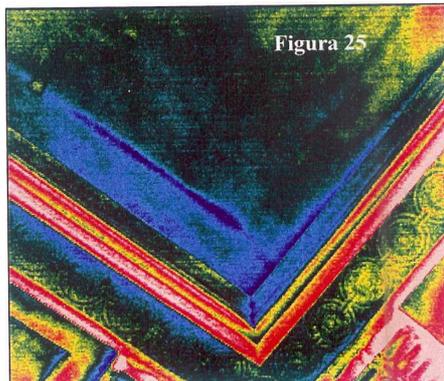


Figura 25

[Link](#) evidenza strutture metalliche

[Link](#) continua

Ponte termico attribuito ad un tamponamento.

La termovisione per essere risolutiva nel chiarire se si tratta di ponte termico o fenomeno evaporativo.

Richiede un'indagine anche in trasmissione.



Immagine 9 – Abbazia di Viboldone, San Giuliano Milanese (MI). Interno della chiesa. Affresco raffigurante la *Madonna in trono*. La presenza di una zona a rischio non è evidente, ma può essere identificata grazie alla ripresa termografica.

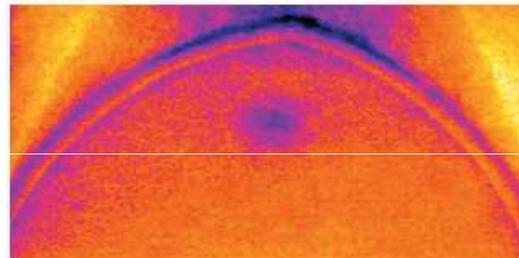
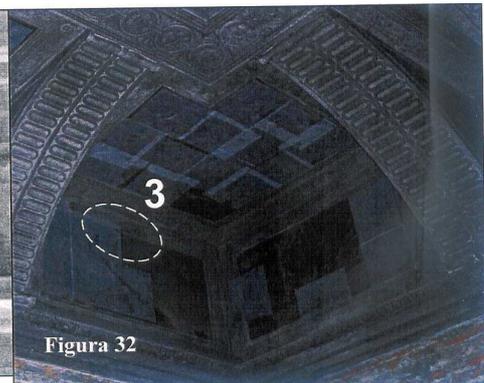
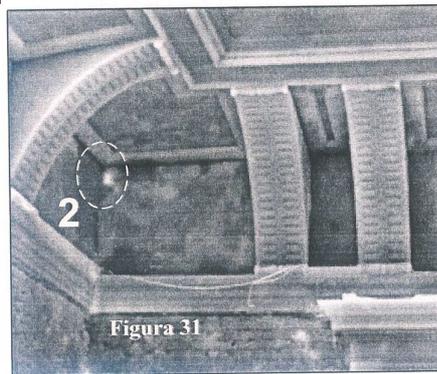


Immagine 10 – Abbazia di Viboldone, San Giuliano Milanese (MI). Interno della chiesa. La ripresa termografica della parete (range 15,5-17,8 °C) con l'affresco della *Madonna in trono* evidenzia un "ponte termico", dovuto al tamponamento di un'apertura posta al centro della parete, in corrispondenza della quale possono verificarsi fenomeni di degrado causati dalla differente inerzia termica dei materiali che costituiscono il tamponamento stesso. Termografia eseguita dal laboratorio del Dipartimento di Conservazione e Storia dell'Architettura del Politecnico di Milano.



- 1) Punto di superficie dipinta persa o ricoperta
- 2) Macchia di calore intenso (fonte di calore o inserto)
- 3) Molto danneggiata distacchi di ampia area
- 4) e piccoli a granuli.



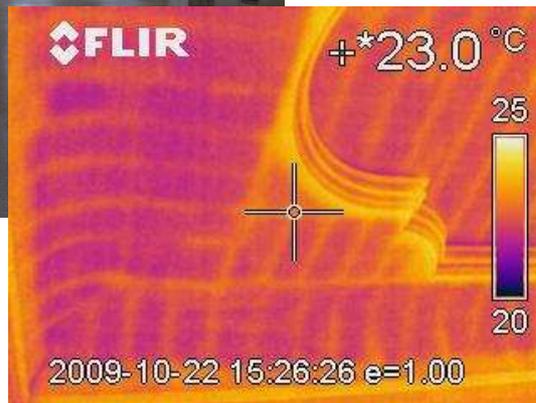
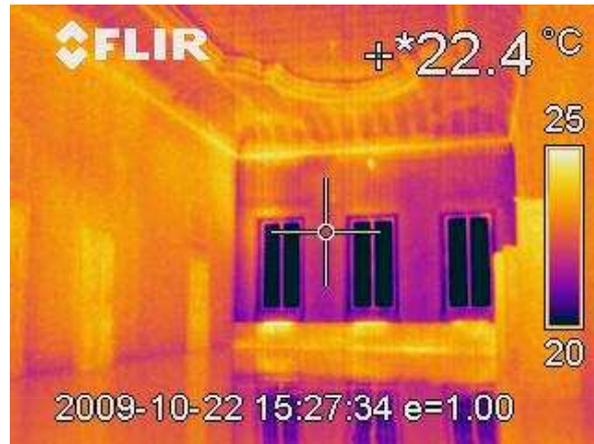
### *3° esempio : conclusioni*

- Accuratezza del risultato.
- Semplicità di utilizzo.
- Non invasività dell'intervento.
- Standardizzazione delle elaborazioni.
- Gestione numerica di un archivio storico dello stato dello stato di conservazione.

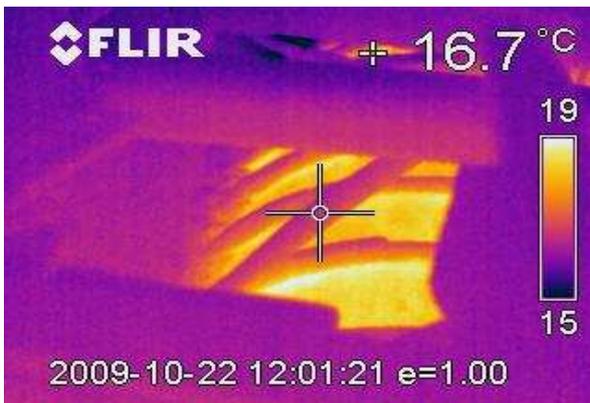
#### Previsioni per ottimizzare il progetto

- Maggiori informazioni igrometriche a corredo delle misure. Per esempio non si rilevano  $T$  e  $U.R.$  su quote o vicino all'affresco.
- Indagini nella fase di rilascio: condensazione, evaporazione, ponti termici.
- Indagini strutturali, o verifica in trasmissione dei ponti termici.

# *Androne del Palazzo Tassoni*

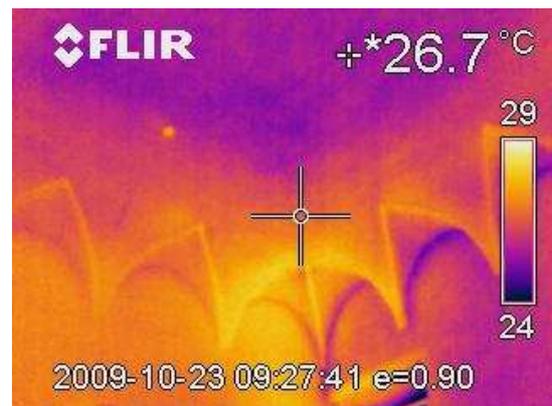
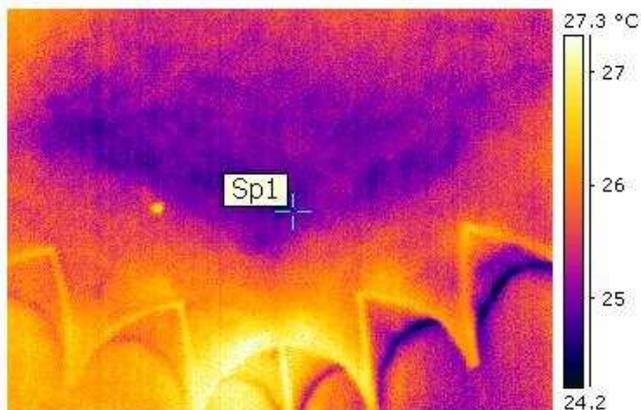


# *Androne Termogramma in Trasmissione*



# Indigine a Palazzo Tassoni

Sala al primo piano restaurata e riscaldata.  
Termogramma in riflessione, le termocamera



## L'indagine a palazzo Tassoni

Fare un sopralluogo anche nei sottotetti, e riportare immagini visibili e/o termografie.



Termogramma in trasmissione, la termocamera si trova dalla parte rispetto a dove si scalda.

## *La misura di temperature e Termocamere*

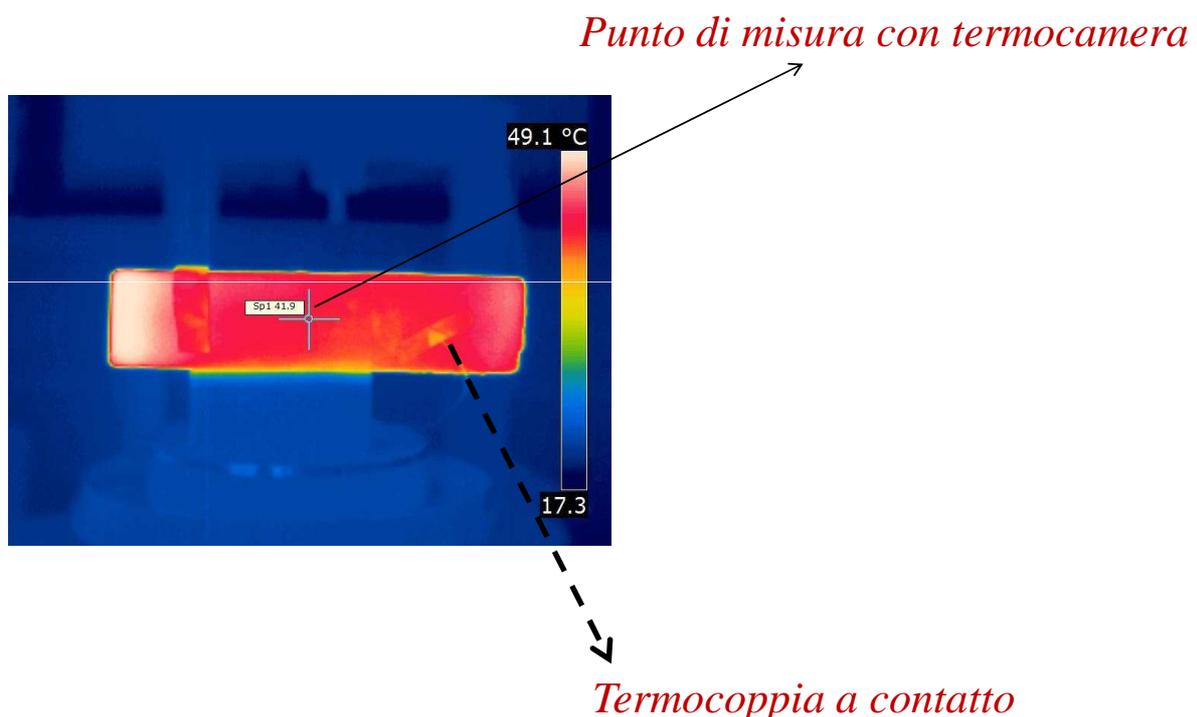
La temperatura fornita dalla termocamera, dipende dall'emittanza impostata, tale emittanza è fornita in tabelle.

$$\frac{Q}{tA} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

- *La misura di temperatura con uno strumento è accurata, se tale strumento è tarato.*
- La termocoppia è stata calibrata rispetto a due punti , assumendo una dipendenza lineare.
- Si può calibrare lo strumento in più punti per confronto con un altro calibrato.

*Utilizzando un calorimetro ed uno strumento di riferimento calibrato, si può ottenere una curva di calibrazione per più punti.*

## *Controllo della misura di T con termocamera*



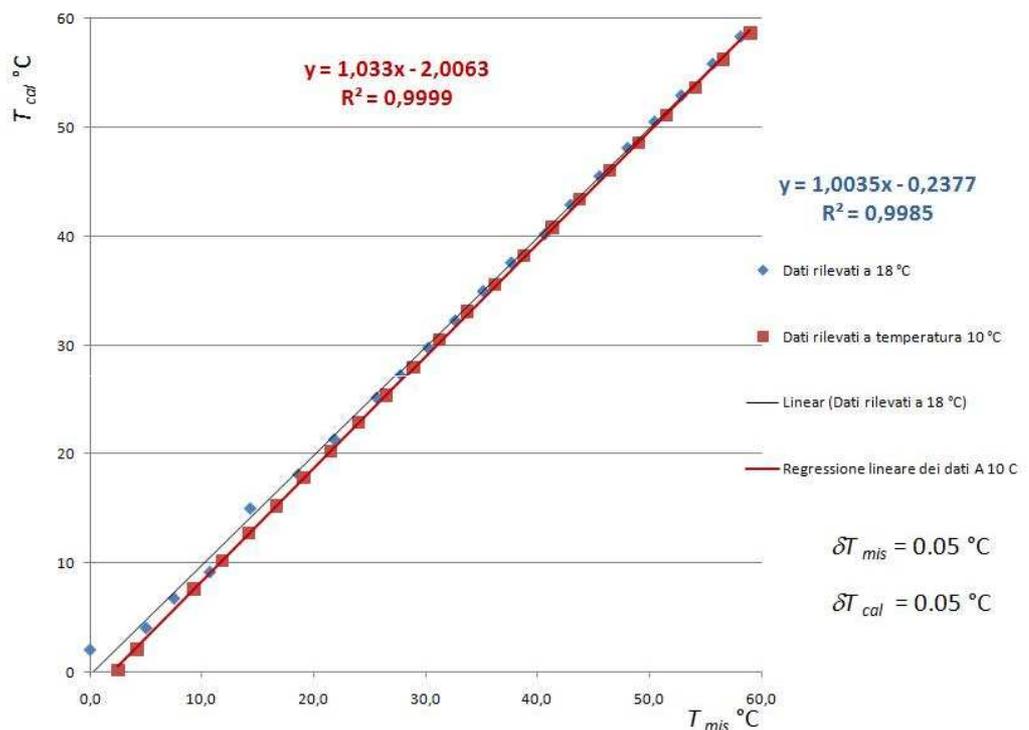
# Calibrazione della termocoppia



*Termometro (calibrato) di riferimento  
in bagno termico.  
Risoluzione del termometro 1/10 °C*

*Termocoppia da calibrare  
in bagno termico  
risoluzione 1/10 °C*

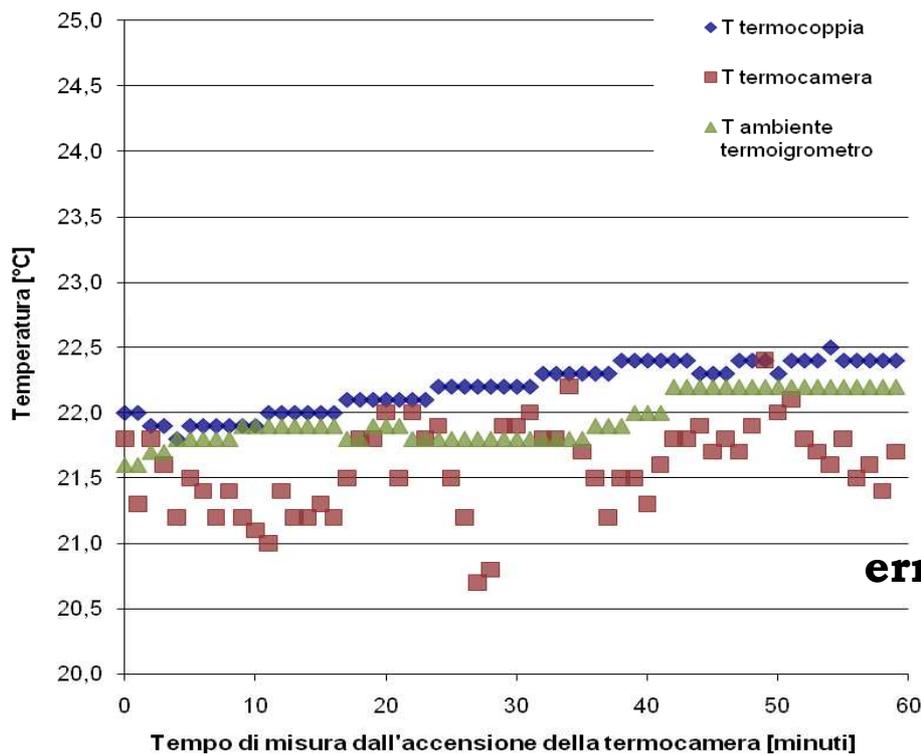
## Misura di $T$ di contatto ed errore



**errore di lettura TC : 0.05 °C, errore di lettura termometro (calibraz) : 0.05 °C**

**Errore totale (quadratura) : 0.07 °C**

# Stima dell'errore $T_{TV}$



**Errore stat: 0.275 °C**  
**Errore di lett.: 0.05 °C**

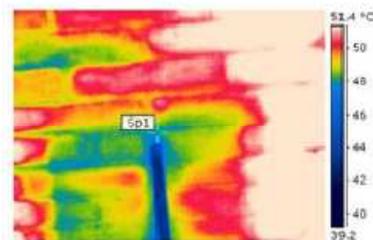


**errore tot.: 0.3 °C**

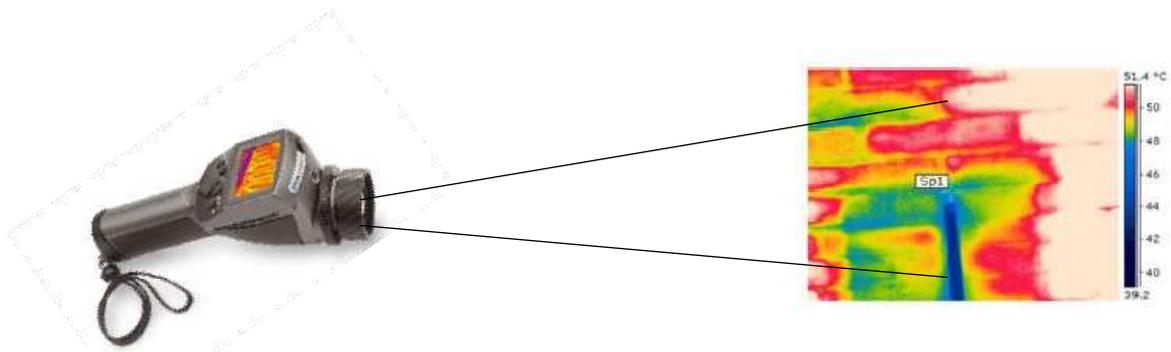
## *4° misure di emittanza*

- Monitoraggio sistematico del patrimonio artistico storico.
- Applicabilità del Dgls 192/2005.
- Ruolo delle figure professionali presenti sul mercato.
- Risparmio energetico

Conoscenza dell'emittanza dei materiali per dimensionare la dispersione energetica.



La lettura in T del termovisore dipende da vari fattori.



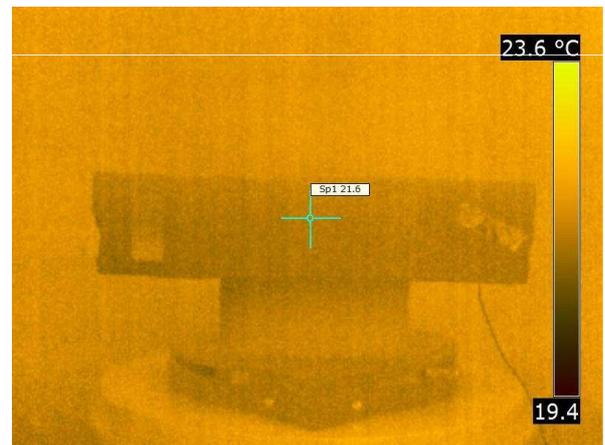
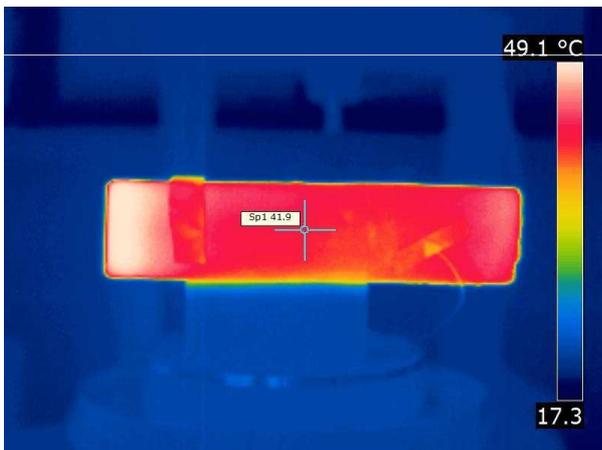
$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{J}{s \cdot m^2 \cdot K^4}$$

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 t$$

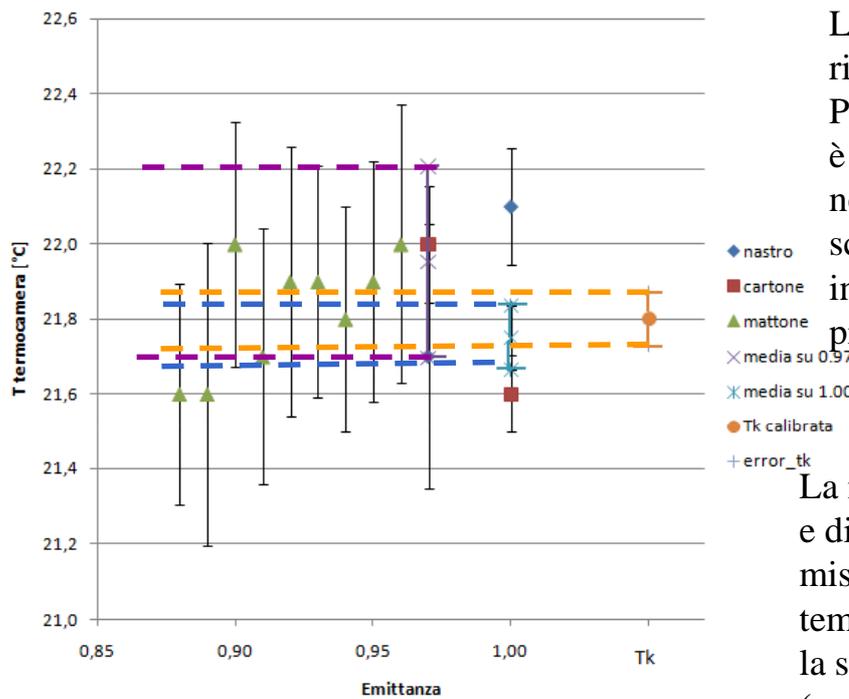
Quantity of energy transmitted (red arrow pointing to  $\sigma$ )  
 emissivity (blue arrow pointing to  $\varepsilon$ )  
 constant of Boltzmann (purple arrow pointing to  $\sigma$ )  
 Surface of the body (red arrow pointing to  $A$ )  
 Temperature of the body (blue arrow pointing to  $T$ )  
 tempo (purple arrow pointing to  $t$ )  
 emissivity range:  $0 \div 1$

## Misura di emittanza

1. Confronto  $T_{TV}$  con  $T$  di una superficie ad emittanza accertata
2. Confronto  $T_{TV}$  con  $T_{TK}$ 
  - Metodo proposto dal manuale della termocamera:
    - ❑ Riscaldando il provino a 20 K oltre la  $T$  ambiente



- ❑ Temperatura ambiente, risulta perseguibile



La misura quantitativa risulta complessa. Per onestà scientifica è opportuno presentare nel testo del lavoro scientifico tutte le informazioni utili e le problematiche del caso.

La misura di emittanza, e di conseguenza la misura assoluta di temperatura, richiede che la superficie di riferimento (corpo nero) sia di emittanza nota e sia in ottimo contatto termico con la superficie.

Nel caso dei provini di emittanza di riferimento, dato che ogni misura  $T$  ha un valore medio ed una  $\sigma_T$  diversi, si utilizza la media pesata.

Nel caso di misure ripetute di una grandezza affetta da incertezze (dette anche errori) casuali la miglior stima del valore centrale atteso (parametro della gaussiana) è la media aritmetica.

Mentre la miglior stima della deviazione standard della gaussiana è la deviazione standard del campione.

*Come si fa a confrontare misure della stessa grandezza, che forniscono valori medi e deviazioni standard differenti?*

La statistica dimostra, che in questo caso si deve utilizzare la media pesata, per cui la miglior stima del valore atteso sarà  $x_{mp}$ , dove il pedice  $mp$  sta per media pesata.

$$x_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

$x_i$  = valore medio ricavato da una serie di misure ripetute (serie  $i$ )

$w_i = 1/\sigma_i^2$ , dove  $\sigma_i$  è la dev. st. del campione della serie  $i$

La miglior stima della deviazione standard della gaussiana è:

$$\sigma_{mp} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n w_i}}$$

# Conclusioni su termografia

*Problema intrinseco nella tecnica stessa:  
facile da utilizzare  
campagne di misurazioni particolari e quantitative potrebbero essere complicate e costose.*

*Richiede la capacità di distinguere tra **informazioni di tipo storico e patologie superficiali** (distacchi, umidità, alterazioni cromatiche).*

*Oltre alla comprensione del dato termico della Temperatura , bisogna capire quali fenomeni di **scambio termico fra oggetto osservato ed ambiente** hanno luogo (connessione con termologia e igrometria).*

*Un **opera d'arte o una costruzione storica** sono assibilabili ad **organismi molto sensibili all'ambiente che li circonda**. L'analogia è intrinseca nella tecnica: la termovisione è un metodo di indagine non invasiva anche per la medicina (in questo caso passiva).*

*Le tecniche di ispezione termovisiva risultano uno strumento sensibilissimo a **rivelare fenomeni di degrado o corrosione** in quanto correlati alla diffusione del calore.*

*È una tecnica di ispezione che permette di monitorare “in situ” condizioni delle opere d'arte e di poter a priori stabilire una campagna di restauro.*

*In seguito a posteriori permette di analizzare l'efficacia dell'intervento.*