

Giovanni Dario Andreotti Alessandro Castagnoli Luisa Manovali

**SPERIMENTAZIONE DI TECNICHE DI
TELERILEVAMENTO NELL'INFRAROSSO
TERMICO PER IL MONITORAGGIO DEI
DISTACCHI DI AFFRESCHI NELLA
CAPPELLA CENTONI DELLA CATTEDRALE
DI PARMA**

MC2 srl

ANALISI CON TERMOCAMERA DI DUE AFFRESCHI DELLA CAPPELLA CENTONI ALL'INTERNO DEL DUOMO DI PARMA.

La conservazione degli affreschi non può prescindere dal sistematico monitoraggio del distacco e del rischio di distacco degli intonaci.

Attualmente, nella larga parte dei casi, il rilevamento avviene identificando i distacchi dal differente suono prodotto dalla leggera percussione manuale della parete. Il rilievo è perciò affidato alla sensibilità dell'esperto, e consente di verificare punto per punto lo stato dell'affresco senza però renderne una visione complessiva e documentata, né può costituire una serie multitemporale di informazioni in grado di descrivere l'evoluzione e di modellare previsioni sullo stato di conservazione.

Si è perciò deciso di realizzare un test di dimostrazione operativa delle tecniche di telerilevamento nella regione dell'infrarosso termico, per valutarne il grado di accuratezza, la semplicità e la rapidità d'uso, e verificarne l'applicabilità ad un edificio monumentale di grande pregio come la Cattedrale di Parma.

Il test è stato condotto con attrezzature di medio costo e normalmente in commercio, privilegiando le caratteristiche di leggerezza e maneggevolezza per poter prescindere dalla realizzazione di impalcature, in modo sia da azzerarne il costo sia di limitare l'invasività del rilievo rispetto al normale uso dell'edificio che è aperto al culto e meta di un consistente flusso di visitatori.

Il rilievo ha presentato una serie di problematiche specifiche: in particolare si è dovuto operare in un ambiente mantenuto pressoché a temperatura costante proprio per motivi di conservazione di dipinti, affreschi e sculture e, ovviamente, con la massima cautela nell'apportare energia di qualsiasi tipo alla parete.

La scelta delle superfici da rilevare è caduta su due porzioni (circa 1mq ciascuna) di affreschi a chiaroscuro posti ai fianchi dell'altare all'interno della Cappella Centoni.

Gli affreschi sono opera del pittore parmigiano Francesco Maria Rondani (1490-1550) e rappresentano episodi della Leggenda di S. Antonio Abate.

Sono stati scelti in quanto questa parte della parete ha storicamente presentato condizioni critiche e versa attualmente in cattivo stato di conservazione e rapido degrado, come si vede anche nelle immagini 1, 2, dove risulta evidente la risalita di umidità.

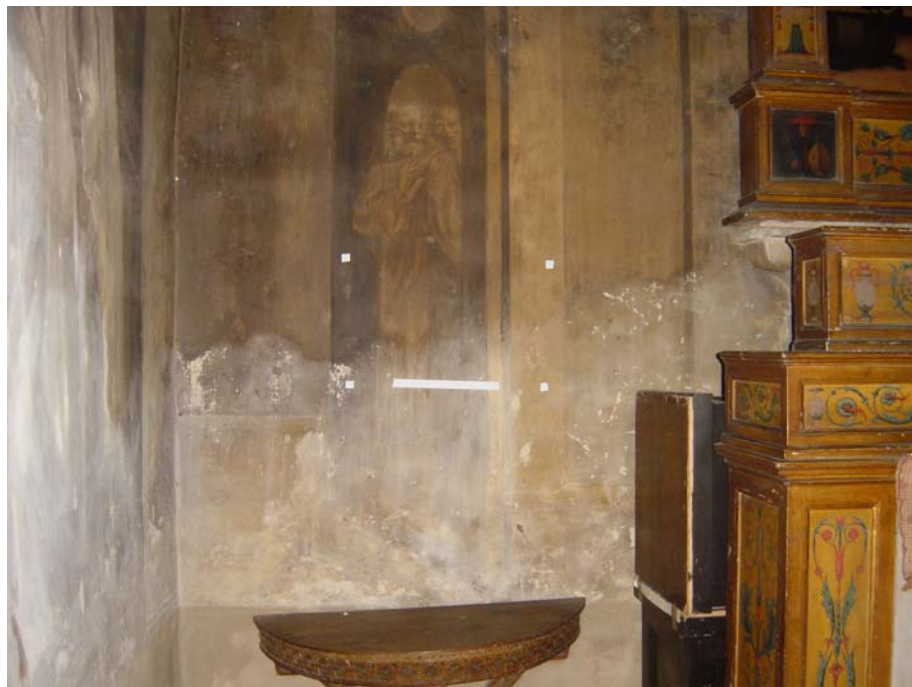


Fig. 1,2 Rispettivamente parete a destra e a sinistra dell'altare della Cappella dei Centoni con gli affreschi interessati al test. I segnali bianchi sono stati apposti per poter coregistrare le immagini all'infrarosso termico su questa immagine a colori.

CARATTERISTICHE DELLO STRUMENTO UTILIZZATO PER IL TEST

Per il rilievo è stata utilizzata una fotocamera termica all'infrarosso NEC serie TH7102 MX. Si tratta di un modello che acquisisce in continuo immagini ad alta qualità e con un'alta precisione di misura, con funzioni automatiche di messa a fuoco e del livello/sensibilità.

Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche dello strumento utilizzato:

SPECIFICHE TECNICHE

Range di misura

TH7102MX/MV

- 1 da -20 a 100°C
- 2 da 0 a 250°C
- 3 (opzionale) da 100 a 800°C
- 4 (opzionale) da 200 a 2000°C

Risoluzione: 0.06 °C (a 30°C) a 25 Hz 0.08°C a 30 Hz

Precisione: + 2°C / + 2% della scala

Sensore: Matrice sul piano focale non raffreddato (microbolometro)

Range spettrale: Da 8 a 14m

I.F.O.V.: 1.58mrad



Distanza di messa a fuoco: Da 50cm all'infinito

Tempo di frame: 1/7.5sec, 1/30sec, 1/60sec selezionabile

Pixel immagine termica: 320 (H) x 240 (V) pixel

Risoluzione A/D: 14 bit

Correz. Temp.ambiente: presente

Funzioni di visualizzazione:

- Run/Freeze
- Colore/monocromatico, positivo/negativo
- 16, 32, 64, 128, 256 gradazioni
- Barra temperature/colore: varie colorazioni per la scala delle

Funzioni elaborazione:

- Visualizzazione temperatura multipunto (10 pt)
- Correzione emissività multipunto (10 pt)
- Visualizz. Max /min temp. (tutto schermo o in una area definita)
- Funzione mantenimento del picco max/min
- Visualizzazione isoterma (4 bande)
- Funzione allarme (tutto schermo o in una area definita)
- Definizione box (massimo 5)

Zoom digitale: x2, x4

Registrazione voce: 30 sec. per immagine , con possibilità di interruzione ad ogni momento della registrazione

Uscita segnale video: Segnale video composito NTSC/PAL

Memorizzazione dati: Scheda compact flash (formato file SIT/BMP)

Interfaccia:

GP-IB/RS-232C

IEEE1394

Temp/umid in funzionamento: Da -15 a 50°C, 90% U. Rel. o inferiore, senza condensazione

Temp/umid immagazzinam: Da -40 a 70°C, 90% U. Rel. o inferiore, senza condensazione

Alimentazione:

Adattatore CA : da 100V a 240V

Alim. in CC : 7.2Volt (nominale)

Dimensioni: Circa 97 (L) x 110 (H) x 169 (D) mm (escluse sporgenze)

Peso: Circa 1.6Kg (MX/WX) 1.7Kg (MV/WV) (escluse batterie)

Accessori Standard:

Adattatore CA, pacco batterie , carica batterie, scheda memoria compact flash (16MB), cinghia per impugnatura, tracolla, tappo

protezione finestra, manuale.

La termocamera utilizzata non è dotata di un sensore nel dominio del visibile, come invece il modello TH7102WX/WV, che rende agevole la coregistrazione dell'immagine termica su quella visibile e la ortogonalizzazione.

MODALITA' DEL RILIEVO

Per questo motivo il primo passo ha riguardato il posizionamento di marche di riferimento sugli affreschi (vedi figg. 1,2) che, opportunamente riscaldate, risultassero evidenti nell'immagine termica, determinando così un comune sistema di riferimento per le diverse immagini. L'immagine all'infrarosso termico non consente infatti di mantenere le informazioni nel visibile e si rende necessario riportarne l'elaborazione su una mappa in scala o, più utilmente, su una immagine a colori dell'affresco. Nel caso specifico, trattandosi di dipinti, la mappatura risulta poco significativa e gestibile, al contrario dell'utilizzo delle immagini

Nonostante la finezza della risoluzione termica del sensore, il rilievo si è svolto in condizioni molto critiche perché la Cattedrale viene riscaldata in modo uniforme e tenuta, durante il giorno, ad una temperatura costante di 16 gradi centigradi e poco inferiore la notte.

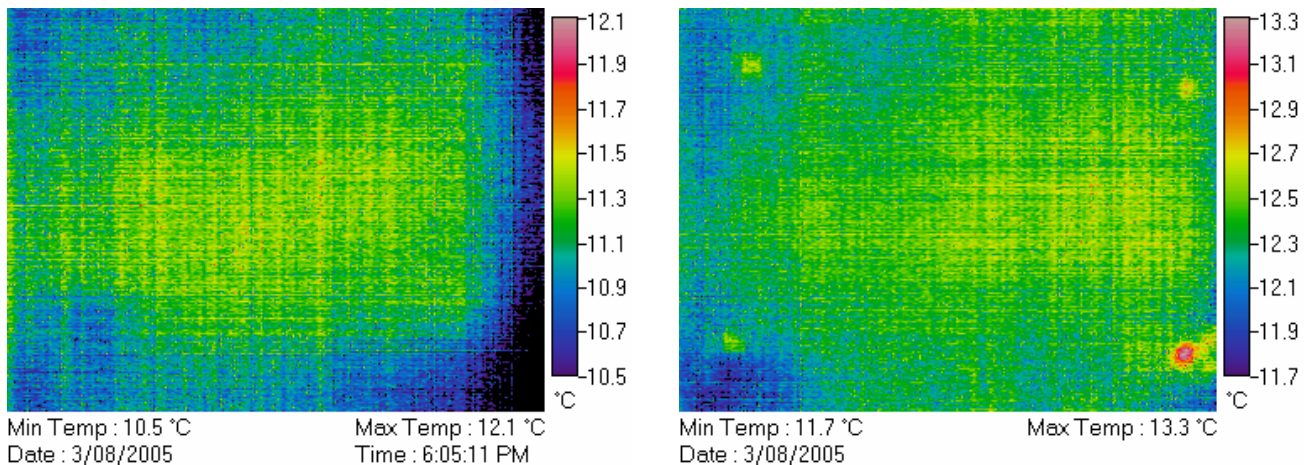
La videocamera termica è stata montata su un cavalletto in modo da mantenere fissa l'inquadratura della parete.

Dopo alcuni scatti iniziali si è deciso di posizionare il cavalletto ad una distanza di circa 2 metri, la scena ripresa pertanto risulta essere di circa 1 x 0,80 metri con una risoluzione geometrica del pixel di 3,22 x 3,22 mm.

Le modalità di ripresa sono state analoghe per entrambe le pareti, le immagini riportate come esempio sono relative alla parete a destra dell'altare

Una prima immagine è stata scattata alla parete a temperatura ambiente (fig.3), dopodiché un'ulteriore immagine è stata ripresa con le marche di riferimento riscaldate e così ben evidenti sull'immagine termica(fig.4).

Fig. 3.4



Si è poi atteso che la temperatura delle marche tornasse ad uniformarsi con la temperatura della parete e che svanisse l'effetto termico dovuto alla presenza dei rilevatori in adiacenza alla parete.

A questo punto si è proceduto al riscaldamento mirato della porzione di parete da rilevare tramite una lampada ad infrarossi, posizionata alla stessa distanza del sensore e quanto più coassiale possibile ad esso.

Il differente grado di riscaldamento della parete e, soprattutto, il differente rilascio termico successivo, sono gli indicatori delle parti di affresco probabilmente distaccate: l'aria che si trova nell'eventuale intercapedine intonaco/parete determina infatti un differenziale sia in termini di rapidità che in valore assoluto di riscaldamento/raffreddamento.

La parete è stata riscaldata per circa 10 minuti, fino a quando l'innalzamento della temperatura, continuamente rilevata dal sensore e controllabile nel monitor, si è stabilizzata.

Appena spenta la lampada è stata scattata un'immagine della parete (fig. 5), successivamente sono stati impostati scatti successivi con un intervallo di 120 sec. fino al completamento del rilascio, avvenuto dopo circa 10 minuti. (fig.6).

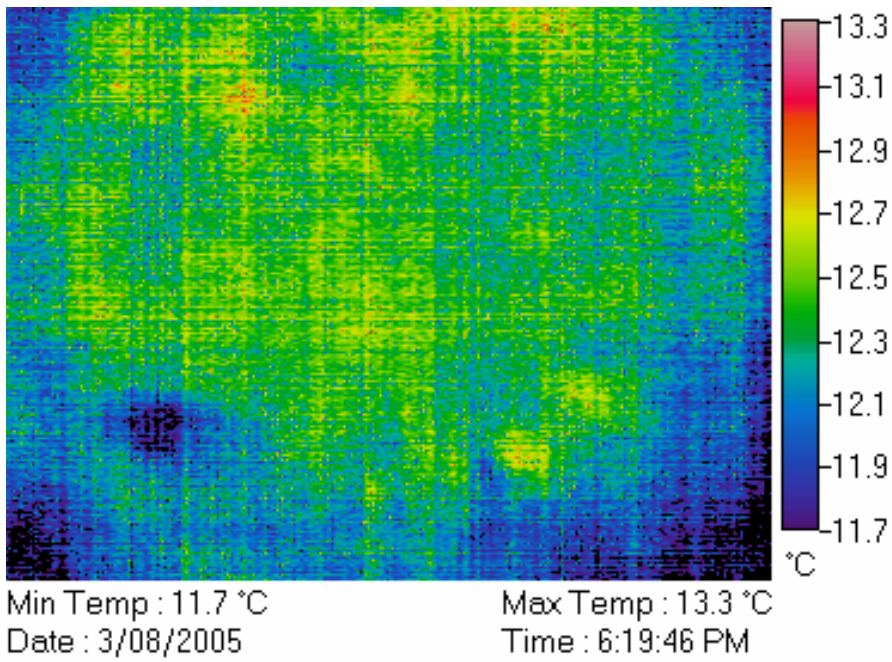


Fig. 5 immagine a massimo caricamento, sulla destra la *palette* con i valori assoluti di termia

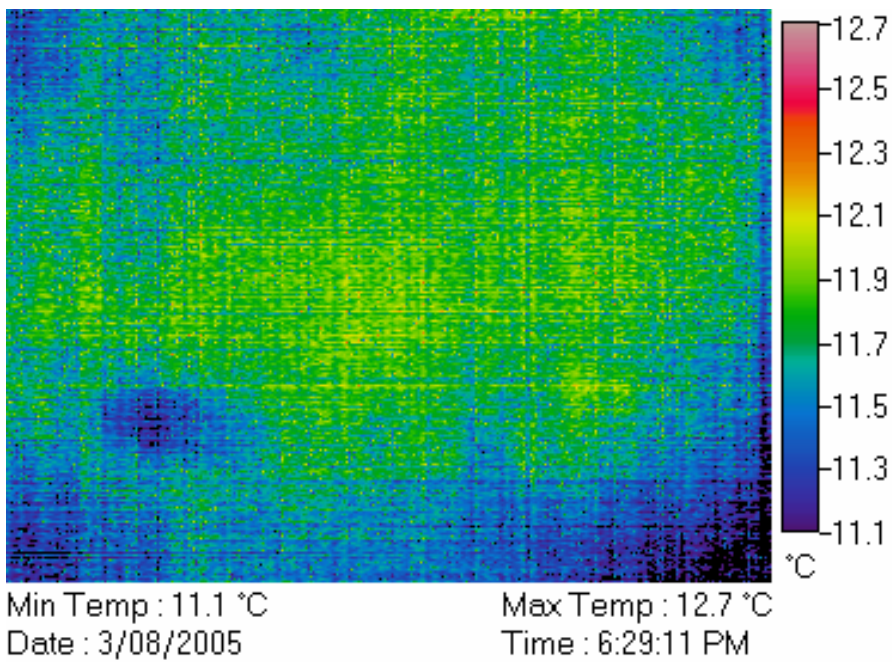


Fig. 6 immagine dopo il rilascio

ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI

La termocamera salva le immagini in formato proprietario, con il SW in dotazione possono essere visualizzate con la loro *palette* di temperatura.

Attualmente, infatti, il larghissimo uso delle termocamere commerciali prevede elaborazioni in *real time* e nessuna necessità di elaborazioni complesse.

Si è quindi provveduto a trasferire le immagini in un ambiente di lavoro tipico del telerilevamento, importando la matrice dei valori assoluti di temperatura per ogni pixel dell'immagine (3,22mm x 3,22 mm).

Si è proceduto quindi alla coregistrazione dell'immagine a colori naturali sulla corrispondente termica, utilizzando le marche di riferimento, come descritto in precedenza. In questo modo non viene in alcun modo ricampionata l'immagine termica che dovrà subire i processi di analisi ed elaborazione.

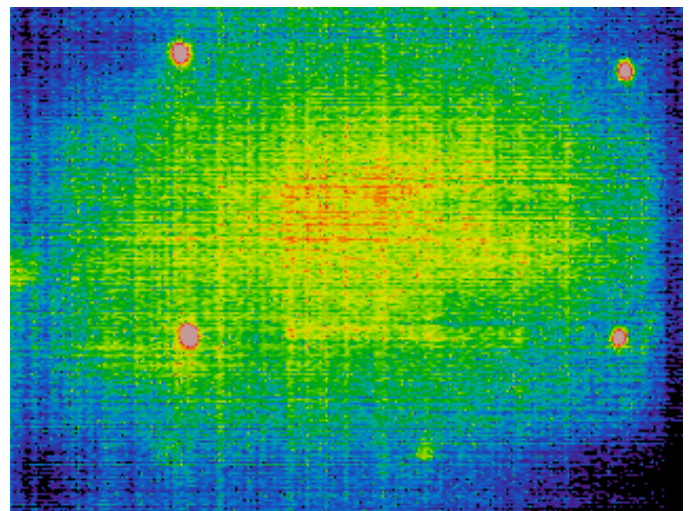


Fig. 7,8: immagini coregistrate lato sx della cappella

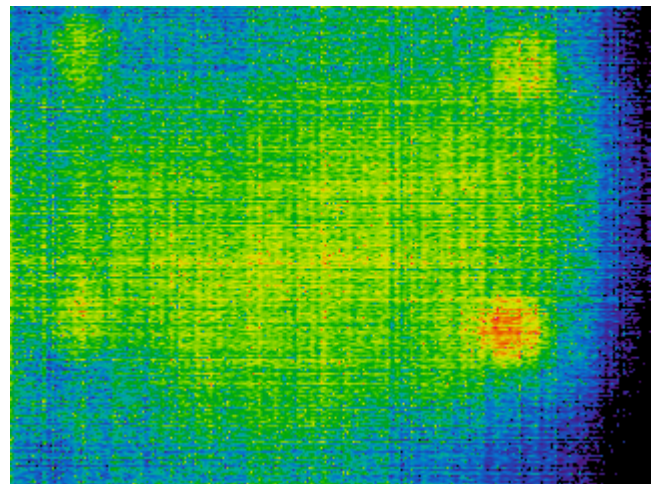


Fig. 9,10: immagini coregistrate lato dx della cappella.

Analizzando la sequenza delle immagini, le più significative risultano essere quella del massimo riscaldamento (Fig 5) e quella finale dopo il rilascio e quindi con la parete a temperatura "ambiente" (Fig 6).

Una prima prova di elaborazione ha riguardato l'analisi delle componenti principali, si tratta di una tecnica consolidata che determina una compressione del dato, segregando il rumore.

L'elaborazione richiede un'immagine multispettrale, pertanto si è proceduto creando un'unica immagine a due bande dalle due immagini coregistrate.

Il risultato è stato tuttavia poco soddisfacente in quanto l'immagine in uscita non ha fornito rilevanti informazioni rispetto agli originali.

Una successiva elaborazione, tesa a massimizzare l'informazione relativa alle aree a maggior differenza di temperatura dopo il riscaldamento, ha comportato di sottrarre, per ciascun pixel, dalle temperature dell'immagine a massimo riscaldamento quelle dell'immagine alla fine del ciclo di raffreddamento.

In questo modo si è ottenuta un'immagine con Δt° per ogni pixel (Fig 11 e fig 12).

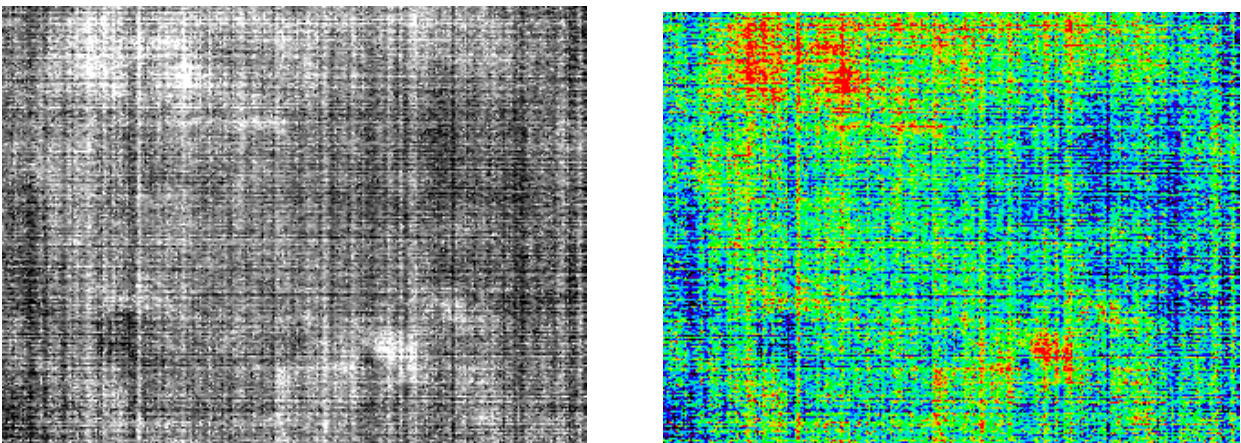


Fig. 11,12: differenza di temperatura fra l'immagine dopo il riscaldamento con la lampada ad infrarossi e l'immagine al termine del rilascio della temperatura accumulata, monocromatica e classificata con una palette di colori simile alle precedenti. In rosso si evidenziano le aree con il Δt maggiore

Le immagini classificate sono tre:

- a) immagine a massimo riscaldamento della parete

- b) immagine a temperatura ambiente
- c) differenza fra le due (Δt).

Analizzando i dati statistici dell'immagine si è proceduto considerando come valori significativi la temperatura massima, quella minima e la media statistica. Di seguito vengono riportati esempi delle temperature rilevate per la parete destra.

a)	b)	c)
max : 11.1	max: 10.5	max: 1.5
min: 13.1	min: 12.3	min: 0.00
media: 12.21	media: 11.6	media:0.62

tre range di temperatura sono stati ritenuti significativi del distacco, compresi tra $t^{\circ} \text{ min}$, $t^{\circ} \text{ med} - \text{Stdev}$, $t^{\circ} \text{ med} + \text{STdev}$, $t \text{ max}$.

La classificazione delle immagini è a tre colori: blu verde e rosso.

Blu per l'intervallo con valori di t sotto $t^{\circ} \text{ media} - \text{Stdev}$ rosso per quello con valori della temperatura $t^{\circ} \text{ media} + \text{STdev}$, verde per quello con valori intermedi ai precedenti.

Le immagini termiche così classificate sono state rielaborate con tecniche consolidate ed automatiche di post-classificazione, in modo da "ripulire" ed accorpare i pixel isolati (Fig. 13, 14, 15).

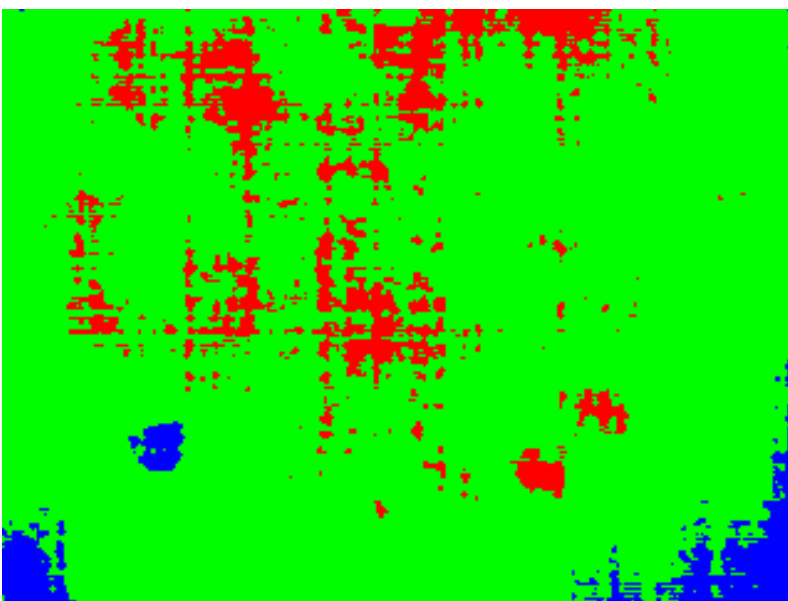


Fig. 13 classificazione dell'immagine termica dopo il riscaldamento

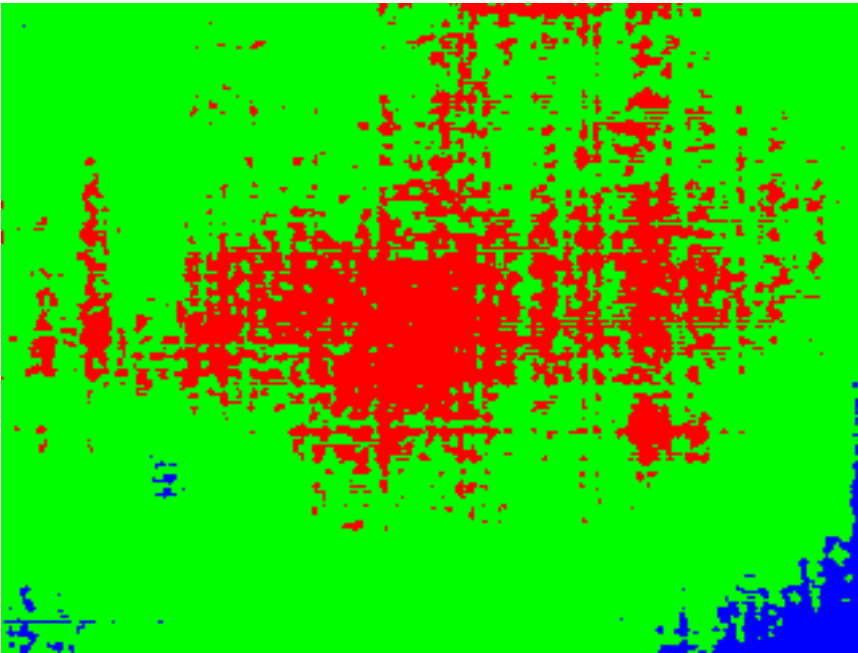


Fig. 14. classificazione dell'immagine termica dopo il raffreddamento

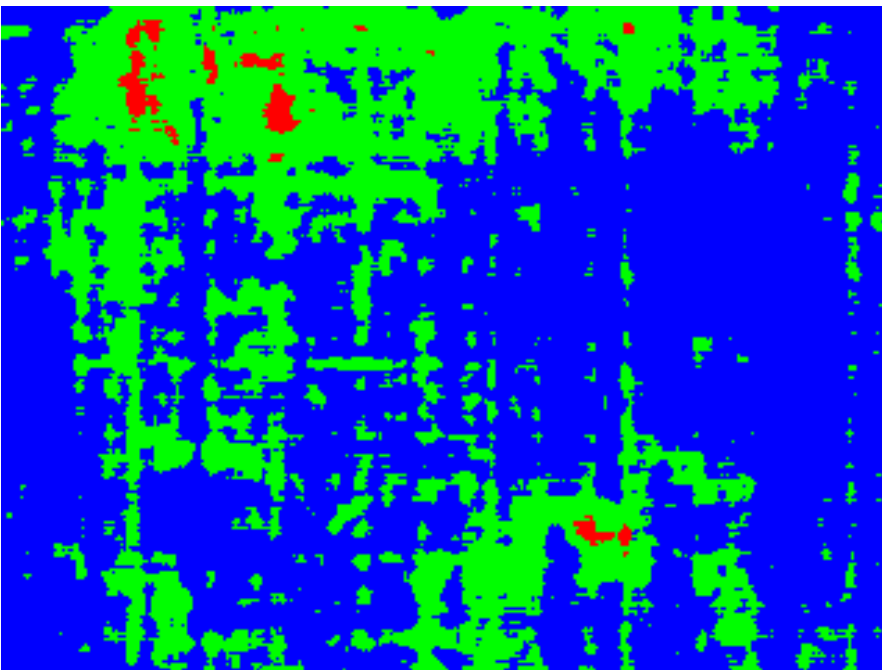
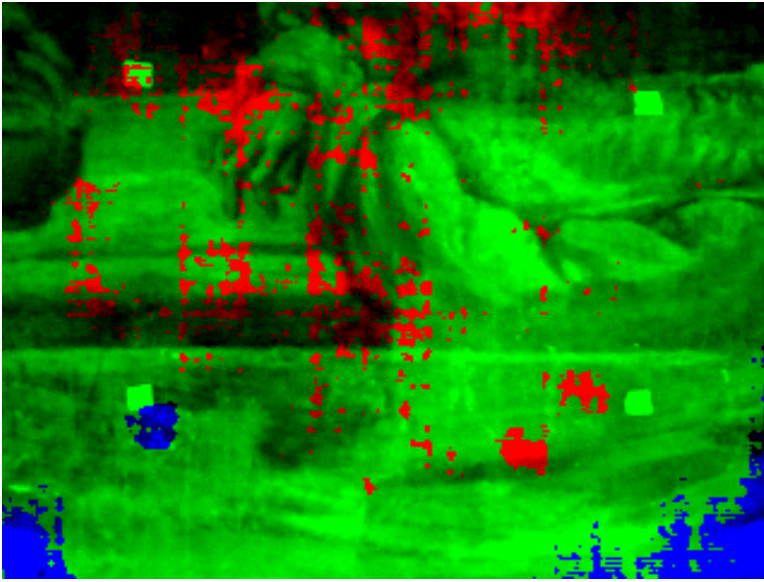


Fig. 15 classificazione dell'immagine in base alla differenza delle temperature della parete tra il massimo riscaldamento e dopo il raffreddamento.

Al fine di ottenere un supporto facilmente leggibile e di immediato utilizzo, l'immagine a colori naturali è stata elaborata in una immagine "color composite" sulla base delle classificazioni.

I risultati ai quali si è giunti e che sono stati forniti al restauratore per la validazione diretta mediante rilievo tradizionale sono i seguenti:

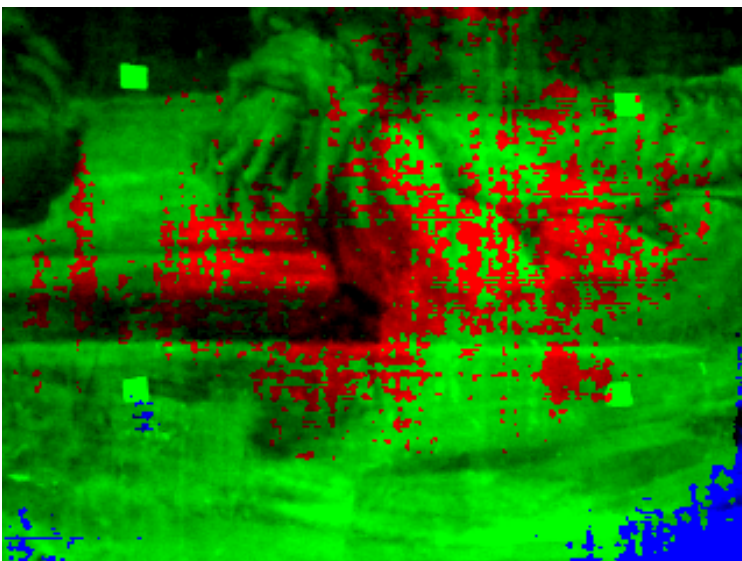
parete a destra dell'altare



possibile massimo distacco

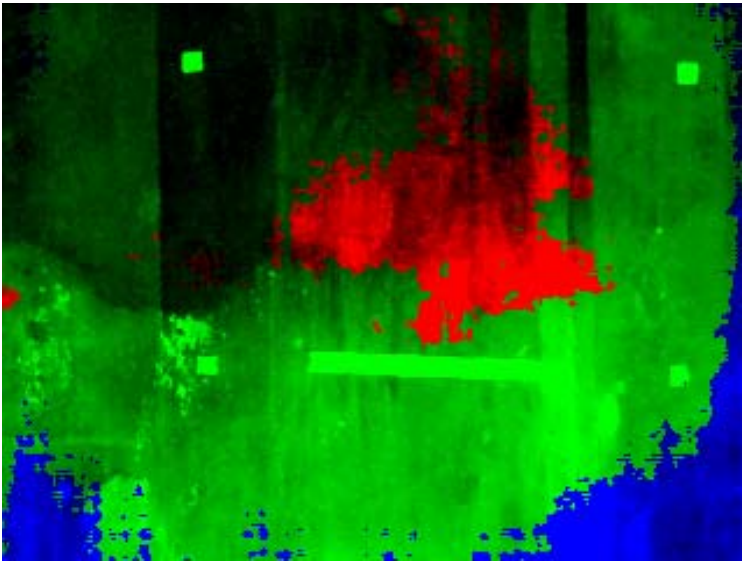


zone a mancanza di intonaco o a forte umidità



situazione di criticità per il distacco

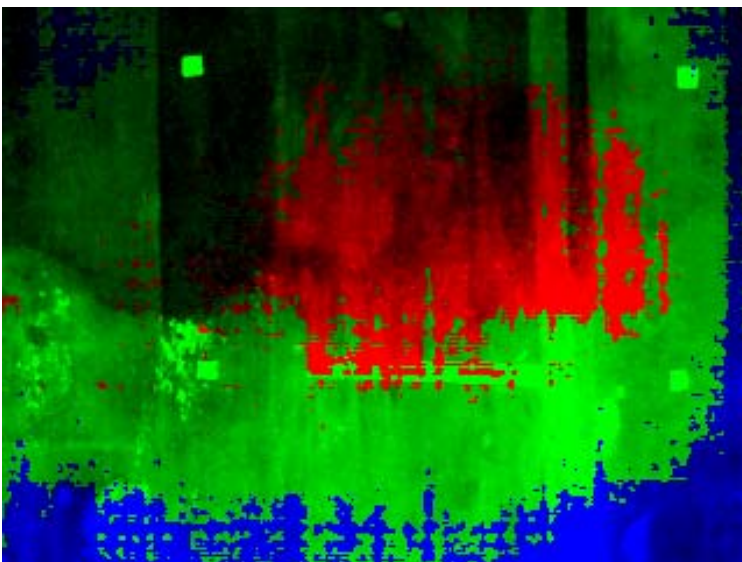
Parete a sinistra dell'altare




possibile massimo distacco



zone a mancanza di intonaco o a forte umidità



situazione di criticità per il distacco

L'attività di validazione, svolta nei giorni....da.... ha fornito eccellenti risultati di corrispondenza. 

CONCLUSIONI

La sperimentazione ha dimostrato che l'utilizzo di termocamere di tipo commerciale a fini di monitoraggio della conservazione di pareti affrescate relativamente ai distacchi ha corrisposto alle attese per quanto riguarda:

- l'accuratezza del risultato
- la semplicità di utilizzo
- la non invasività dell'intervento
- la standardizzazione delle elaborazioni
- la gestione numerica di un archivio storico dello stato di conservazione

Un progetto operativo deve prevedere:

- un approfondimento sulle modalità di ripresa, relativamente alle modalità di ripresa di intere pareti (supporto, riscaldamento, distanza/risoluzione geometrica ottimale, ecc)
- l'utilizzo di termocamere con ottica per riprese contemporanee nel visibile
- comando a distanza dell'intero sistema di acquisizione
- monitoraggio in *real time* delle prese

Bellena di Fontevivo, 31 aprile 2005