

# TECNICHE INNOVATIVE PER IL RILIEVO MULTISPETTRALE DI AFFRESCHI MURALI

Enrico BORGOGNO MONDINO, Mauro GRUA, Andrea LINGUA, Fabio GIULIO TONOLO

Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell' Ambiente e delle Geotecnologie  
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino  
Tel.:011/564.7700 (7687) Fax: 011/564.7699  
e-mail: *enrico.borgono@polito.it, andrea.lingua@polito.it; fabio.giuliotonolo@polito.it*

## Sommario

Le profonde radici storiche che caratterizzano il territorio italiano hanno permesso, nel corso dei secoli, la formazione di un invidiabile patrimonio artistico e architettonico molto ricco e variegato spesso da proteggere, restaurare e valorizzare. In particolare, affreschi murari e volte decorate, a causa delle tecniche esecutive e dei materiali impiegati, risentono maggiormente degli effetti del degrado del tempo (effetti termici, umidità, luce...) e richiedono frequentemente interventi di pulizia e restauro. Fino ad oggi, le tecniche di restauro degli affreschi hanno coinvolto tecniche tradizionali a vista, raramente coadiuvate da tecniche ausiliarie di rilievo metrico e/o multispettrale.

Tali tecniche innovative prevedono l'utilizzo di strumentazione laser scanner, fotogrammetria digitale e camere termiche e permettono, se applicate in modo corretto e adeguatamente integrato, diversi livelli di semplificazione delle operazioni di restauro atti a definire lo stato di conservazione.

In questo contributo si descrivono le tecniche integrate di rilievo metrico tridimensionale e multispettrale ponendo particolare attenzione agli aspetti legati alla camera termica recentemente acquisita dal nostro dipartimento. Le modalità esecutive e le possibilità applicative di questo approccio metodologico innovativo sono state verificate sul campo mediante un'applicazione specifica di rilievo di un antico affresco romanico situato all'interno della Chiesa di San Giacomo della Bessa in Sala Biellese (BL).

## Abstract

*Modern processes of maintenance and restoration of historical buildings, tracery and frescos require a new approach which takes advantages of recent survey instruments: terrestrial laser scanner, digital photogrammetry and thermo-graphic techniques provide an integrated set of 3D-metric and multi-spectral data that simplifies, improves and completes the preliminary analysis of state of preservation of restoration object.*

*This integrated approach has been developed on a ancient fresco in the romanic Church "San Giacomo della Bessa"(Sala Biellese – Biella) using a modern thermal camera (Thermo Tracer TH9100MV/WV by NEC), a terrestrial laser scanner (RIEGL LMS420), an high resolution digital camera (KODAK DCS pro 600): several tests on practical application of this various data have been done to investigate real possibilities and effective performance of the proposed methodology.*

## Introduzione

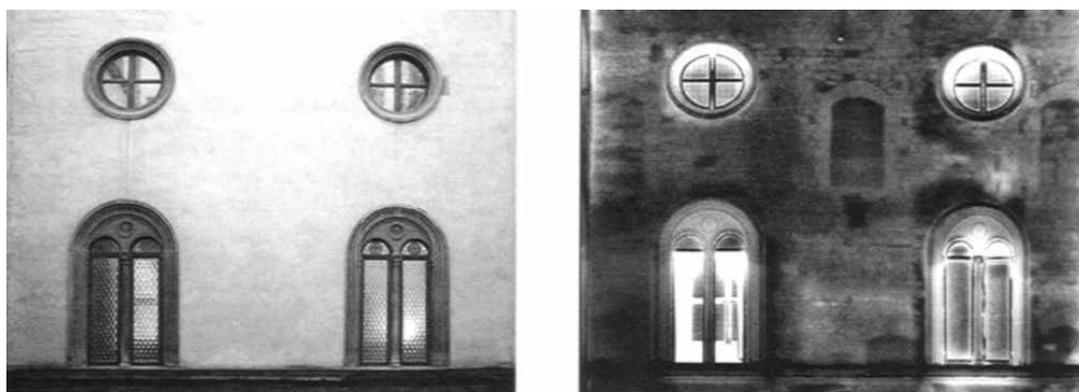
Le profonde radici storiche che caratterizzano il territorio italiano hanno permesso, nel corso dei secoli, la formazione di un invidiabile patrimonio artistico e architettonico molto ricco e variegato.

La salvaguardia di una simile ricchezza e la sua adeguata valorizzazione richiedono spesso operazioni di restauro conservativo per permettere il mantenimento nel tempo dei beni artistici e architettonici e consentirne una corretta comprensione e fruibilità: in particolare, affreschi murari e volte decorate, a causa delle tecniche esecutive e dei materiali impiegati, risentono maggiormente degli effetti del degrado del tempo (effetti termici, umidità, luce...) e richiedono frequentemente interventi di pulizia e restauro.

Il progetto di interventi di manutenzione e restauro conservativo richiede la scelta delle corrette tecniche di intervento entro un ventaglio abbastanza ampio di possibilità che deve pertanto essere supportata da un'accurata conoscenza del manufatto, punto di partenza imprescindibile di un corretto approccio teso alla riqualificazione del patrimonio costruito esistente. Occorre conoscere il manufatto, la sua storia, i suoi legami con il contesto urbano e ambientale circostante, ci si deve documentare sulle tecniche costruttive e sui materiali impiegati, occorre riconoscere le trasformazioni che nel tempo ne hanno modificato l'impianto tipologico e morfologico originario. Spesso, la valutazione di un edificio storico e le sue evoluzioni non può essere completamente soddisfatta attraverso la consultazione di elaborati progettuali, perché inesistenti, perduti, a volte consultabili solo parzialmente e comunque spesso insufficienti e lacunosi. Requisiti indispensabili per la predisposizione di interventi mirati e sostenibili sono quindi le indagini dirette sull'edificio o dell'oggetto architettonico/artistico dal rilievo geometrico e materico alle indagini più complesse e approfondite.

Fino ad oggi, le tecniche di restauro degli affreschi hanno coinvolto tecniche tradizionali a vista, raramente coadiuvate da tecniche ausiliarie di rilievo metrico e/o multispettrale. Tali tecniche innovative prevedono l'utilizzo di strumentazione laser scanner, fotogrammetria digitale e camere termiche e permettono, se applicate in modo corretto e adeguatamente integrato, diversi livelli di semplificazione delle operazioni di restauro: la definizione della geometria tridimensionale e la generazione di un modello tridimensionale dell'oggetto, la descrizione fotografica dello stato esistente e l'acquisizione di dati multispettrali di contorno (mediante camera termica) atti a definire lo stato di conservazione.

In questo contributo si descrivono queste tecniche integrate di rilievo metrico tridimensionale e multispettrale ponendo particolare attenzione all'aspetto maggiormente innovativo legato alla camera termica NEC Thermo Tracer TH9100MV/WV (Borgogno Mondino et al., 2005) recentemente acquisita dal nostro dipartimento. Le modalità esecutive e le possibilità applicative di questo approccio metodologico innovativo sono state verificate sul campo mediante un'applicazione specifica di rilievo di un antico affresco romanico situato all'interno della Chiesa di San Giacomo della Bessa in Sala Biellese (BL). Per una descrizione delle caratteristiche tecniche della camera termica utilizzata si rimanda alla documentazione disponibile in rete (bibliografia).



*Figura n. 1 – Un esempio di acquisizione termografica (fonte Calvi et al., 2005)*

### **Analisi termografiche sugli edifici**

La termografia è una tecnica che permette di acquisire una mappa termica della superficie dell'oggetto da analizzare, rilevando la radiazione termica emessa (infrarosso termico). Rientra nell'ambito delle acquisizioni multispettrali (riprese fotografiche a colori, infrarosso vicino, UF riflesso, fluorescenza UV, a luce radente ecc.) in grado di rilevare le disomogeneità nella composizione e nell'esecuzione dei manufatti edilizi mediante tecniche non distruttive ovvero che non comportano la distruzione parziale e/o puntuale del manufatto.

Come analisi preventive ad interventi di restauro, le tecniche termografiche sono finalizzate all'individuazione degli elementi strutturali nascosti, lesioni, distacchi di intonaco, presenza di ag-

grappi metallici, ristagno di umidità (Calvi et al., 2005). Un'analisi termografica applicata ad oggetti artistici ed edilizi si attua in 3 fasi successive:

1. l'acquisizione della temperatura superficiale dell'elemento analizzato mediante una camera termica (aerea o terrestre in funzione della scala d'indagine). Un corretto utilizzo della strumentazione deve prevedere, oltre alla singola acquisizione in condizioni termicamente stazionarie (analisi statica), anche l'acquisizione di sequenze di immagini termiche durante transitori termici di riscaldamento e/o raffreddamento della superficie, sfruttando le diverse capacità termiche dei materiali che compongono l'oggetto. Per elementi esterni agli edifici (facciate, serramenti decorazioni esterne ...) è possibile utilizzare i transitori causati dall'irraggiamento solare alla alba e al tramonto, nel caso di oggetti interni (affreschi, decorazioni murarie interne, pavimenti ecc.) è consigliabile forzare la risposta termica transitoria dei materiali mediante apposite strumentazioni di riscaldamento;
2. la ricerca di eventuali anomalie nella distribuzione della temperatura superficiale (differenze di materiali, presenza di umidità, ecc.). In figura n. 1 è possibile osservare un esempio di immagine termografica (destra) e visibile (sinistra) che permette di evidenziare la tessitura della muratura restando una parete intonacata (fonte Calvi et al., 2005);
3. nel caso di presenza di anomalie, la valutazione del tipo e dell'entità dei difetti da cui determinare le cause e proporre le possibili soluzioni.

Nel presente contributo, si analizzeranno le prime 2 fasi legate alle operazioni di acquisizione e di elaborazione dei dati acquisiti, lasciando la trattazione della terza fase, comunque essenziale per la definizione degli interventi, ai tecnici specializzati nel campo del restauro che dispongono di adeguate conoscenze in merito.

### **L'Abbazia di San Giacomo della Bessa in Sala Biellese**

La chiesa e il convento dell'Abbazia di S. Giacomo della Bessa furono eretti fra il 1083 e il 1085 da Rainero I Avogadro, Vescovo di Vercelli ed esistono ancora, almeno in parte avendo subito negli anni notevoli modificazioni. La chiesa è di stile romanico, ha la facciata rivolta a ponente (figura n. 2) ed il coro a levante secondo il concetto liturgico delle antiche basiliche cristiane, in cui il sacerdote doveva guardare verso Gerusalemme nel celebrare la S. Messa. L'abside è stata asportata durante la costruzione della strada per Zubiena (un vicino centro abitato). A fianco della chiesa vi è il convento ed un recinto chiuso che doveva servire da cimitero o da orto. Chiesa e convento sono da tempo di proprietà privata: i proprietari ne hanno fatto stanze, cucine, stalle, fienili e pollai spesso deturpando le austere linee architettoniche. Rimane comunque un antico affresco romanico (figura 3) all'interno della navata centrale.



*Figura n. 2 – La facciata della chiesa*

La S. Messa. L'abside è stata asportata durante la costruzione della strada per Zubiena (un vicino centro abitato). A fianco della chiesa vi è il convento ed un recinto chiuso che doveva servire da cimitero o da orto. Chiesa e convento sono da tempo di proprietà privata: i proprietari ne hanno fatto stanze, cucine, stalle, fienili e pollai spesso deturpando le austere linee architettoniche. Rimane comunque un antico affresco romanico (figura 3) all'interno della navata centrale.

### **L'acquisizione dei dati primari**

Le operazioni di rilievo sono state concentrate sulla facciata principale e all'interno della chiesa

nella navata centrale. I dati metrici e multispettrali sono stati acquisiti seguendo gli standard ormai consolidati inerenti i rilievo fotogrammetrici e laser scanner, secondo lo schema di figura n. 4.



Figura n. 3 – Interno della chiesa (sinistra) e l’affresco romanico (destra)

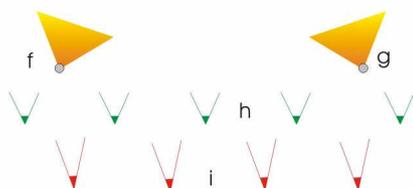
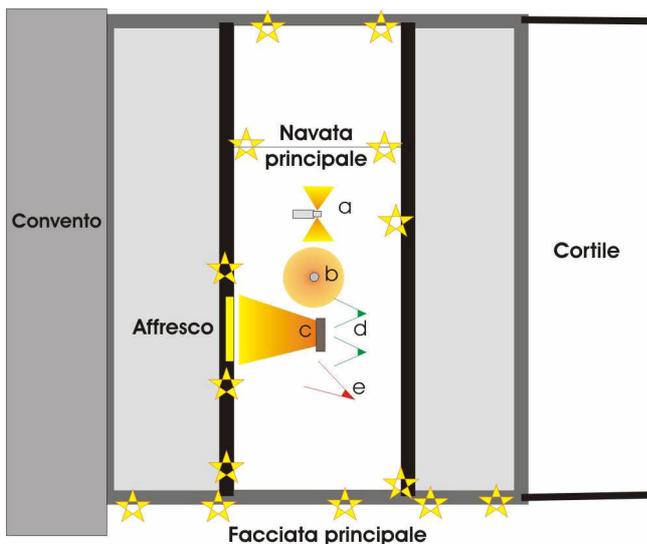


Figura 4 – Lo schema delle acquisizioni:  
 (a,b,f,g) scansioni laser RIEGL,  
 (c) scansione laser MENSI,  
 (d, h) prese fotogrammetriche (verde),  
 (e, i) acquisizioni termografiche (rosso)

In particolare, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- posizionamento di un’insieme di marker catarifrangenti sulla superficie della facciata e all’interno della navata centrale e loro misurazione mediante stazione totale Topcon GPT 8001;
- una strisciata composta da 5 fotogrammi della facciata e un modello fotogrammetrico dell’affresco lungo la navata centrale, acquisiti mediante camera digitale ad alta risoluzione Kodak DCS Pro 600 con obiettivo grandangolare ( $f=24$  mm);
- 2 scansioni laser sulla facciata (una da sinistra e una da destra a causa di alcuni ostacoli presenti nella zona antistante) e 2 scansioni dell’interno della chiesa (una a giro d’orizzonte con asse dello strumento verticale e una con asse orizzontale per descrivere la parte alta delle murature e la copertura) acquisite mediante strumento RIEGL LMS-420;
- varie immagine termografiche acquisite mediante la camera termica NEC Thermo Tracer TH9100MV/WV di cui 3 concentrate sulla superficie dell’affresco (alta, media e bassa) e 4 inerenti la facciata principale; le termografie dell’affresco sono state acquisite in modalità particolari in quanto interne all’edificio: è stata innanzitutto acquisita

una prima immagine termica in modalità stazionaria, in seguito è stata riscaldata la superficie mediante stufe elettriche ad irraggiamento (per circa 3 ore), poi sono state riprese un'insieme di immagini in sequenza (una ogni minuto per circa 30 minuti) sfruttando il transitorio di raffreddamento della superficie. Per ogni immagine termica è stata acquisita con la stessa camera termica anche un'immagine nel visibile (Borgogno Mondino et al., 2005).

A completamento è stata eseguita una scansione ad alta risoluzione (un punto ogni mm) con lo strumento S25 MENSI avente una precisione nominale di circa 0.3 mm alla distanza di scansione. Questi dati non sono ancora stati elaborati ed integrati con gli altri dati acquisiti.

### **Elaborazione ed integrazione dei dati**

In questo contributo si analizzeranno le operazioni legate alle indagini sull'affresco interno all'edificio.

Le scansioni laser sono state collegate in un'unica nuvola di punti orientata rispetto al sistema di riferimento di rilievo, definito mediante le misurazioni effettuate con la stazione totale. Una porzione di questa nuvola di punti è stata estratta in corrispondenza della superficie dell'affresco ed orientata in un sistema fotogrammetrico locale, in modo da derivarne un DEM (Digital Elevation Model) con dimensione della maglia di 1 cm, coerente con le prese fotogrammetriche. Il modello fotogrammetrico è stato orientato mediante i punti d'appoggio rilevati con stazione totale utilizzando il software GeoIn con cui è stata prodotta l'ortofoto (figura n. 5).

Le immagini termografiche sono state orientate sulla corrispondente immagine nel visibile (acquisita con la stessa camera termica) mediante l'algoritmo definito in (Borgogno Mondino et al., 2005). Vista la sostanziale planarità dell'affresco, le immagini ottenute dalla camera termica (visibile + termico registrato sul visibile) sono state raddrizzate utilizzando punti omologhi derivati dall'ortofoto.

Quest'approccio approssimato (circa 2-3 pixel di errore nella georeferenziazione delle immagini termiche) risulta valido per operazioni tematiche di analisi e interpretazione finalizzate al restauro e alla manutenzione. In presenza di oggetti con geometria più complessa (volte affrescate, lunette ecc.) è necessario ricorrere a tecniche più raffinate (ortoproiezione delle immagini termiche) che richiedono la conoscenza dei parametri di orientamento interno del sensore termico.

### **Analisi delle anomalie termiche**

In seguito alle elaborazioni descritte, le varie immagini termiche sono ora sovrapponibili all'ortofoto nel visibile e permettono pertanto una corretta analisi tematica (figura n. 6a). Le termografie in situazioni stazionarie non hanno fornito dati apprezzabili. In particolare vista la sostanziale uniformità della temperatura della superficie non è stato possibile leggere alcuna informazione utile alle analisi. Le immagini acquisite durante il transitorio di raffreddamento hanno invece evidenziato alcune informazioni interessanti. Tra le varie immagini sono state scelte quelle in cui le varie anomalie riscontrate erano più visibili (maggior gradiente termico). In figura 6b, è visibile la mosaicatura delle 3 prese termiche più significative e la sovrapposizione con il raddrizzamento che permette di fondere l'informazione visibile con quella termica.

Si notino tre caratteristiche dell'oggetto che possono essere dedotte anche da un occhio non esperto:

- a. nella parte bassa dell'affresco è presente una chiara anomalia termica in una posizione che non combacia con nessuna evidenza visibile; essa denuncia una presenza di materiale avente



*Figura n. 5 – L'ortofoto dell'affresco*

- una capacità termica maggiore rispetto ai materiali vicini (forse presenza di sali o umidità) corrispondente ad una zona di distacco dell'intonaco dalla muratura retrostante lungo un'incrocio tra le pietre di base;
- sia nella parte bassa che nella parte alta dell'affresco si legge la tessitura muraria retrostante l'affresco formata con pietre di diverso materiale (vedi facciata): si possono anche leggere i due archi laterali che terminano sotto l'affresco;
  - nella zona centrale si notano invece due zone visibili anche dall'immagine RGB raddrizzata che corrispondono a porzioni di affresco forse ricostruite o restaurate.

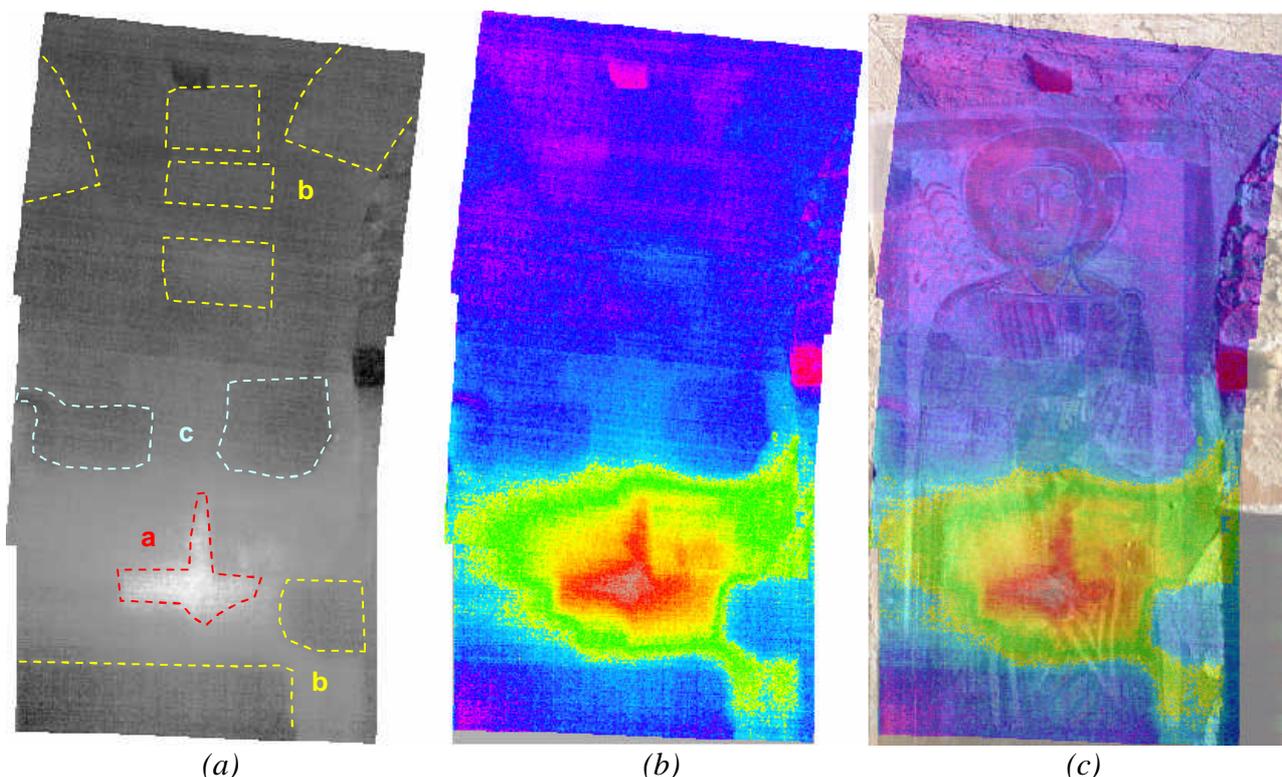


Figura 6 – Mosaicatura delle immagini termiche dell'affresco in toni di grigio (a), density slicing (b) e sovrapposizione con l'ortofoto (c)

### Conclusioni

Le tecniche termografiche applicate correttamente (meglio se in regime transitorio) ad oggetti interni agli edifici (affreschi, intonaci ecc.) forniscono, in modo non distruttivo, un dato utile per l'interpretazione di questi oggetti, individuandone caratteristiche non visibili ad occhio nudo (degrado degli intonaci, tessitura muraria ecc.) e consentendo coerenti e pianificate operazioni di restauro. Inoltre, le immagini acquisite con camera termica in un approccio multi-spettrale integrato acquistano un nuovo significato metrico, permettendo (nell'ipotesi di oggetto sostanzialmente piano) di rilevare gli aspetti tematici evidenziati dalle analisi e di stabilire una valutazione di massima delle aree di anomalia termica.

### Bibliografia

- Borgogno Mondino E., Lingua A., Giulio Tomolo F. (2005) "Calibrazione geometrica di immagini acquisite mediante camera termica", *Atti ASITA*, Catania
- Calvi G., Morandotti M., Greco A., Besana D. (2005), "Diagnostica per il progetto di conservazione. Metodi, tecniche ed esempi", *Quaderno 2 del Centro Interdipartimentale di Studi e Ricerche per la Conservazione dei Beni Culturali (Università di Pavia)*, Edizioni ETS
- G. Zanetto (1952), "Sala Biellese e le sue chiese", *Ed. Ramella*, Biella
- D. Lebole (1962), "Le chiese biellesi", *Vol. I*, Biella
- <http://www.necsan-ei.co.jp/osd/thermography/thermography.htm>