

## LA TERMOGRAFIA COME TECNICA DIAGNOSTICA NON INVASIVA

### PER IL MODERNO ESERCIZIO DELLA TUTELA: ALCUNI CASI DI STUDIO

di Francesco Miraglia



Fig. 1 - Mondragone (CE), Basilica Minore di Maria SS. Incaldana. Scorcio della fronte (Foto di A. Smirne).

#### INDAGINI DIAGNOSTICHE E AMBITI DI APPLICAZIONE

L'utilizzo integrato di strumenti di diagnostica innovativi, divenuto una pratica diffusa anche grazie ai costi sempre più sostenibili, consente di disporre di apparecchiature elettroniche per analisi di tipo quali-quantitativo sul costruito storico. Il ricorso a questi dispositivi è favorito anche dalla maggiore complessità operativa che sottostà alla comprensione degli interventi di conservazione della materia, soprattutto riguardo le preventive indagini sulle patologie di degrado e sulla stabilità degli edifici.

Appare utile definire i concetti di analisi "qualitativa" e "quantitativa", in riferimento all'ambito qui trattato. Il primo tipo di analisi consegna risultati soggetti a controllo e decodificazione, dipendenti anche dall'esperienza e dalla capacità interpretativa dell'operatore. Il secondo, invece, fornisce risultati costituiti generalmente da numeri, agilmente comparabili e verificabili.

La disponibilità di tecniche diagnostiche per nulla invasive, quali ad esempio la termografia, ne ha consentito un utilizzo massiccio, restituendo informazioni - di tipo qualitativo - utili per approfondimenti di ricerca o per disporre di una base di dati per la realizzazione degli interventi di restauro. Sempre nel campo delle tecniche non invasive, si può fare ricorso alle indagini soniche o ultrasoniche, che analizzano le onde acustiche che si propagano nei materiali. La loro utilità è dimostrata quando si debba stima-

re lo scopo precipuo del restauro, in accordo con consolidata prassi (si veda, tra tutte, la Carta internazionale del Restauro di Venezia del 1964) e con quanto statuito dal Codice dei beni culturali e del paesaggio (D. Lgs. 42/2004, art. 29), è conservare la materia storicizzata e tramandarne i valori. Come indicato nel predetto decreto, entrambe le azioni prevedono un complesso di attività «finalizzate all'integrità materiale ed al recupero del bene».

Gli operatori del settore ben comprendono come, per interventi da condursi su un bene culturale, sia molto importante porre la dovuta attenzione sulla fase delle indagini preliminari, che concorrono a costituire un iniziale contributo di conoscenza.

Questo perché, in considerazione della complessità e della delicatezza del contesto di intervento, l'analisi dello stato di conservazione, se non condotta con i più recenti strumenti diagnostici, può rivelarsi inutile, se non addirittura dannosa.

re l'omogeneità di una struttura, registrando l'eventuale presenza di vuoti o diversità tra i suoi componenti. Va ribadito, però, come l'utilizzo di tali tecniche non sempre sia esaustivo per la completa conoscenza del bene culturale e vada, in diversi casi, integrato con quelle invasive, ma più approfondite, quali ad esempio l'endoscopia o i martinetti piatti.

La prima, che prevede l'utilizzo di sonde costituite da tubi metallici più o meno rigidi o flessibili, con un oculare da un lato e una fonte luminosa dall'altro, consente di limitare il sacrificio di materia ad un foro - spesso già presente - per analizzare le caratterizzazioni interne di una muratura. Sebbene rientri nelle indagini non distruttive, è da considerarsi invasiva: l'esigenza di esplorare le cavità di un organismo murario, infatti, rischia di pregiudicare l'integrità dello stesso. Al pari della termografia, è un'indagine di tipo qualitativo.

L'utilizzo dei martinetti piatti, invece, necessario quando si vogliono chiarire aspetti di ordine strutturale, come la determinazione del valore dello stato tensionale in una muratura, prevede un approccio molto invasivo, richiedendo la rimozione di quantità significative di materia, che andranno irrimediabilmente perdute. Questa indagine, parzialmente distruttiva, consente di ottenere risultati di natura quantitativa.

Per analisi maggiormente complesse è utile citare il geora-

dar, strumento di indagine non distruttiva, che interpreta le onde elettromagnetiche per rivelare presenza e posizione di oggetti sepolti o posti nelle profondità marine. Ulteriori strumenti per indagini da condursi nel settore del restauro sono lo sclerometro (misura l'indice di rimbalzo di una massa spinta da una molla calibrata), il pull-out (misura la forza necessaria ad un martinetto idraulico per estrarre un tassello in acciaio inserito nel calcestruzzo) e la sonda di Windsor (misura l'indice di penetrazione nel calcestruzzo), tutti miranti ad analizzare la resistenza del materiale oggetto della prova, in danno del quale provoca sacrificio di materia.

Ha interesse considerare come solo la capacità e l'esperienza dell'operatore siano utili a fargli comprendere, caso per caso, quale possa essere la tecnica diagnostica - singola o in concorso con altre - più indicata per le finalità prefissate.

### LA TERMOGRAFIA PER IL RESTAURO ARCHITETTONICO

La termografia consente di acquisire immagini nel campo dell'infrarosso senza prevedere contatti con l'oggetto di indagine. Se eccitati termicamente, materiali differenti consegnano radiazioni all'infrarosso diverse: la termocamera, mediante l'utilizzo di sensori, le trasforma in immagini - indipendentemente da come sono illuminate nel campo del visibile - e, con l'utilizzo di falsi colori, le rende distinguibili dall'occhio umano. Risultato finale è il termogramma, reso sotto forma di immagine o video, in formato digitale.

L'analisi termografica permette di conoscere le condizioni di conservazione, stabilità e alterazione di una struttura, ma anche di indagarne la stratigrafia degli elevati. Negli interventi di restauro si utilizza, in genere, la "termografia per telerilevamento", impiegata principalmente in edilizia per individuare manifestazioni di umidità e/o lesioni di intonaco.

L'indagine in premessa ha consentito di analizzare le patologie di degrado superficiali di due edifici, uno religioso e l'altro residenziale, siti nell'antica provincia di Terra di Lavoro, in Campania settentrionale, territorio oggi ascrivibile amministrativamente alla provincia di Caserta: la Basilica Minore di Mondragone e il Palazzo Marzano di Carinola.

I termogrammi, con risoluzione di 640x480 pixel, sono stati realizzati con una termocamera Flir dotata di tecnologia MSX (Multi Spectral Dynamic Imaging). Grazie ad un processore integrato, essa permette di raffigurare immagini particolareggiate, sovrapponendo i dettagli della foto digitale su quella termica e valorizzando, in tal modo, numerose informazioni grafiche.

I rilievi sono stati ovviamente condotti in una fascia oraria in cui i materiali cominciavano a rilasciare il calore assorbito.

### CASI DI STUDIO

La Basilica Minore di Maria SS. Incaldana (Fig. 1) è il centro religioso di Mondragone, realtà urbana sita in Campania settentrionale, nella provincia di Caserta. Edificata lungo la strada che dalla cosiddetta "Piazza" (sito storico risalente al periodo rinascimentale) conduceva alla "Porta di San Nicola", ha subito nel tempo notevoli trasformazioni, che ne hanno stravolto l'impianto originario, risalente al XV-XVI secolo.

Oggetto di un recente intervento di restauro degli ambienti interni (Fig. 2), la struttura sacra ha beneficiato di un'accurata analisi termografica in fase pre e post restauro, condotta sia sulle superfici interne sia su quelle esterne, per verificare la presenza di patologie di degrado non



Fig. 2 - Mondragone (CE), Basilica Minore di Maria SS. Incaldana. La navata centrale dopo i lavori di restauro (Foto di A. Razzano).

visibili facendo ricorso alla sola indagine macroscopica.

L'analisi termografica di paramenti murari, pilastri e superfici voltate ha rappresentato un significativo ausilio per l'intervento di restauro, consentendo di verificare la presenza di patologie di degrado, nonché di lumeggiare i rapporti stratigrafici all'interno della struttura sacra. Si noti il termogramma di Fig. 3, ottenuto con tre rilevamenti effettuati, nel range di temperatura 12,8-16,9°C, sul pilastro della prima campata, tra la navata centrale e quella sinistra, che segnala una variazione relativa di 0,3°C. Si comprende come la temperatura diminuisca in corrispondenza delle porzioni murarie con elevata presenza di umidità. Il termogramma di Fig. 4, ottenuto con rilevamenti puntuali e areali (effettuati nel range di temperatura 13,4-17,5°C), mostra, invece, anche il valore minimo, massimo e medio della temperatura all'interno di una porzione muraria. In ciò consentendo di avere a disposizione un numero maggiore di informazioni, utili ad una compiuta comprensione delle variazioni di temperatura.

Si indicano di seguito - in accordo con il lessico normalizzato 11182/2006 - i fenomeni di degrado individuati, compresi con maggiore accuratezza mediante l'applicazione della termografia, determinati perlopiù dall'azione dell'umidità di risalita capillare e da infiltrazioni di acqua piovana: distacco (soluzione di continuità tra strati di un intonaco, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi); lacuna (perdita di continuità di superfici - parte di un intonaco e di un dipinto, porzione di impasto o di rivestimento ceramico, tessere di mosaico, ecc.); alterazione cromatica, caratterizzante perlopiù le coloriture (variazione naturale, a carico dei componenti del materiale, dei parametri che definiscono il colore).

L'indagine termografica post restauro, condotta sui muri d'ambito e nello spazio absidale, ha confermato la diminuzione dell'umidità, restituendo valori di temperatura più omogenei. L'analisi ha anche palesato che la

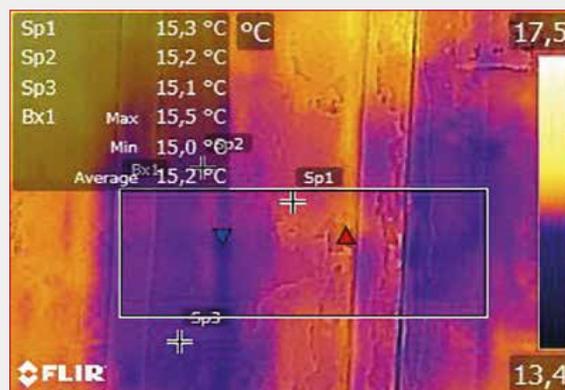
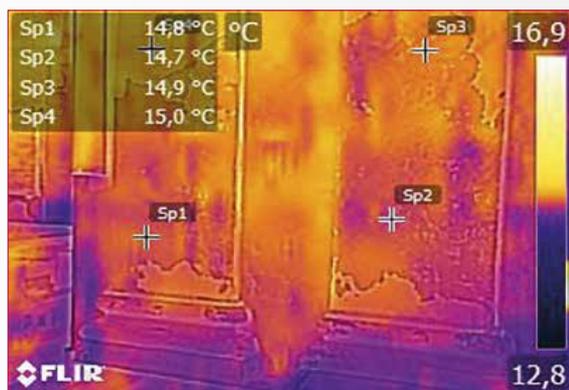


Fig. 3-4 - Mondragone (CE), Basilica Minore di Maria SS. Incaldana. Termogrammi ottenuti dai rilievi condotti nella fase di analisi pre restauro. Si evidenziano i punti di rilievo (Sp), l'area di rilievo (Bx) con le temperature minima, massima e media, nonché la scala termica di riferimento in falsi colori.

superficie maggiormente condizionata da queste patologie è quella del muro d'ambito della navata sinistra, all'esterno non adeguatamente protetto dagli agenti atmosferici. In questo caso, l'azione combinata dell'umidità di risalita capillare e delle infiltrazioni di acqua piovana, in decenni di sottovalutazione del problema, ha provocato diffusi danni agli intonaci, in gran parte sostituiti durante i lavori di restauro.

L'utilizzo della termografia ha rappresentato un utile ausilio anche per indagare le caratterizzazioni costruttive della struttura sacra, consentendo di chiarire - laddove il

contenuto spessore dell'intonaco favorisse l'analisi della tessitura muraria - i rapporti stratigrafici tra alcune porzioni di fabbrica.

Il Palazzo Marzano (Fig. 5), sito nel piccolo centro di Carinola, sempre nella provincia casertana, è invece un interessante esempio di edificio quattrocentesco, che offre - in condizioni di conservazione ancora accettabili - una corte di accesso al primo piano caratterizzata da una scala d'onore di chiara matrice catalana.

La struttura fu realizzata grazie ad artefici impegnati presso la corte di Alfonso il Magnanimo; essi, mutuando gli insegnamenti di figure di spicco quali l'architetto maiorchino Guillermo Sagrera, ne perpetuarono le buone prassi, trasferendole alle maestranze del luogo. La loro presenza, a Carinola e nei vicini feudi di Pontelatone e Sessa Aurunca, fu favorita da Marino Marzano, genero di Alfonso.

Il palazzo fu ampliato dopo la dominazione aragonese, con ulteriori corpi di fabbrica e con un'altra corte (ad ovest della struttura quattrocentesca), che reca preesistenze riferibili ai secoli XVIII e XIX e che, purtroppo, versa in uno stato di preoccupante abbandono, avendo subito, nei mesi scorsi, anche importanti crolli.

L'analisi dello stato di conservazione, occasionata dalla redazione di un progetto di restauro della porzione quattrocentesca e condotta anche attraverso l'indagine termografica, ha dimostrato come la struttura sia interessata da fenomeni di degrado determinati da azioni chimiche, meccaniche e antropiche, nonché da biodeteriogeni vegetali.

Il termogramma di Fig. 6, ottenuto con tre rilevamenti effettuati nel range di temperatura 11,9-16,0°C sul muro di confine tra il palazzo e la corte di un altro edificio posto a nord, segnala una variazione relativa di 0,5°C. Ben si arguisce come la porzione superiore del suddetto muro, esposta agli agenti atmosferici sulla superficie a nord, presenti caratteristiche termiche diverse da quella inferiore, evidenziata da colori più "caldi", ai quali corrisponde una temperatura maggiore. Il termogramma di Fig. 7 evidenzia, invece, la presenza di un ponte termico tra il muro e la copertura lignea, quest'ultima frutto di recenti interventi di restauro. Tra i punti di rilievo Sp1 (in corrispondenza del muro) e Sp2 (in corrispondenza della copertura lignea) si osserva una variazione relativa di 1,5°C.

Nel caso del palazzo Marzano, con la termografia è stato possibile riferire, in particolare, sull'estensione del distacco degli intonaci, sulla gravità dell'erosione dei giunti di malta e in ordine alla presenza di umidità, quest'ultima

Fig. 5 - Carinola (CE), Palazzo Marzano. Interno, scorcio della loggia quattrocentesca. Si noti la presenza di diverse patologie di degrado.





Figg. 6-7 - Carinola (CE), Palazzo Marzano. Termogrammi ottenuti dai rilievi condotti nella fase di analisi pre restauro. Si evidenziano i punti di rilievo (Sp), nonché la scala termica di riferimento in falsi colori.

causata soprattutto da infiltrazioni di acque meteoriche. Problematiche, queste, difficilmente rilevabili nella loro completezza con la sola analisi macroscopica. Ulteriori patologie di degrado riscontrate con l'ausilio dell'analisi termografica sono, come per la Basilica Minore di Mondragone, la lacuna e l'alterazione cromatica, cui si unisce, in particolare per le porzioni della struttura esposte all'azione diretta degli agenti atmosferici, la patina biologica (strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato).

In quest'ultimo caso, la predetta analisi ha permesso di comprendere quali murature fossero più incisivamente colpite dalla patologia. Infine, si è potuta verificare l'assenza di idonei strati di impermeabilizzazione sulle coperture e l'inadeguatezza tecnologica di alcuni sotto-servizi. I lavori di restauro, da condursi a breve sulla struttura (su finanziamento regionale nell'ambito del "Piano Operativo Complementare per i Beni e le Attività Culturali", annualità 2016-17), terranno ovviamente conto di queste importanti acquisizioni.

## CONCLUSIONI

L'utilizzo della termografia ha consentito, in entrambe le indagini effettuate, di pervenire - senza provocare alcun sacrificio di materia - a risultati qualitativi utili a comprendere sostanza e caratterizzazione di diverse patologie di degrado, soprattutto quelle legate direttamente alla presenza di fenomeni di umidità. Condizione, questa, che si ritrova in gran parte delle strutture storizzate realizzate facendo ricorso a materiale tufaceo - tra i litotipi maggiormente utilizzati, da diversi secoli, nell'areale della Campania settentrionale - che, come è noto, è caratterizzato da elevate proprietà idrofile.

Come accennato, questa tecnica diagnostica offre anche un'ulteriore peculiarità, perché consente di effettuare indagini sulle caratterizzazioni stratigrafiche degli elevati, facendo comprendere eventuali differenziazioni in ordine alle tessiture murarie, in particolare nei casi in cui i rilievi siano condotti su superfici di contenuto spessore, come ad esempio gli intonaci.

Ha dunque interesse ribadire come tutte queste caratteristiche collochino a pieno titolo la termografia nel contesto operativo del moderno esercizio della tutela dei beni culturali, in varie soluzioni applicative, che vanno dall'analisi delle patologie di degrado allo studio delle tecni-

che costruttive. Senza dubbio, per indagini di questo tipo, essa rappresenta lo strumento diagnostico da preferirsi largamente, perché non cagiona alcun danno alle strutture oggetto di indagine e nel contempo consente di ricavare informazioni utili per l'oculata scelta degli interventi di conservazione della materia.

## BIBLIOGRAFIA

- Crova C., Miraglia F. (2018), "Use and efficacy of Thermography for stratigraphic analysis of historical buildings", in "Conservation Science in Cultural Heritage", vol. 18.
- Crova C., Miraglia F. (2018), "La termografia come strumento di indagine conoscitiva delle superfici architettoniche. Interventi e prospettive di ricerca", in *Atti del XXXIV Convegno Internazionale "Scienza e beni culturali" (Bressanone, 3-6 luglio 2018)*, a cura di Biscontin G., Driussi G., Arcadia Ricerche, Padova, pp. 351-360.
- Miraglia F., Valente C. (2018), *Il restauro della Basilica Minore di Maria SS. Incaldana a Mondragone. Metodologia, interventi, prospettive di ricerca*, Armando Caramanica Editore, Marina di Minturno.
- Miraglia F. (2018), *Il palazzo Marzano a Carinola. Vicende costruttive e restauri*, Armando Caramanica Editore, Marina di Minturno.
- Conti C., Martines G. (2007), "I saggi e le indagini preliminari", in Carbonara G., diretto da, *Trattato di restauro architettonico*, vol. 2, UTET, Torino, pp. 587-600.
- Brunetti G. (1996), "Tecniche non distruttive per la diagnosi", in A. Bellini, a cura di, *Tecniche per la conservazione*, Franco Angeli, Milano, pp. 228-274.

## ABSTRACT

The essay focuses on demonstrating the usefulness of thermography as a non-invasive diagnostic technique for restoration, especially in the analysis of historical buildings.

In fact, the correct application of this technique allows us to analyze the deterioration patterns and the characteristics of the structures without damaging them. Therefore, its use is mainly recommended for interventions on cultural heritage.

## PAROLE CHIAVE

TERMOMOGRAPHY; RESTORATION; PREVENTIVE DIAGNOSTICS; DEGRADATION PATTERNS; STRATIGRAPHIC ANALYSIS

## AUTORE

FRANCESCO MIRAGLIA

FRANCESCOMIRAGLIA@GMAIL.COM

DOTTORE DI RICERCA IN CONSERVAZIONE DEI BENI ARCHITETTONICI

CULTURE DELLA MATERIA IN RESTAURO