

Il Mortorino di San Fiorano

Un monumento da salvare

A cura di Gabriella Mantovani

Il Quadriportico

SOMMARIO

Il recupero del Mortorino di San Fiorano. Una sfida per tutti	11
Filippo Piazza	
Le premesse al restauro e una nuova strategia di intervento	27
Aria Amato	
Gli interventi preliminari e il progetto di restauro	35
Dario Foppoli, Mariagrazia Bellanova e Gabriella Mantovani	
Il monitoraggio ambientale	55
Elisabetta Rosina	
Le indagini diagnostiche chimico-fisiche	63
Antonio Sansonetti	
La messa in sicurezza della <i>Via Crucis</i>	73
Gabriella Mantovani	
Fonti documentarie e bibliografia	91

IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

Elisabetta Rosina

Obiettivo degli accertamenti diagnostici sull'umidità

Con la finalità di studiare la migliore strategia per la conservazione dell'importante ciclo di decorazioni murarie del cimitero del Mortorino di San Fiorano, si è costituito un gruppo di studio che potesse raccogliere i dati relativi alle condizioni ambientali e i rischi connessi per il mantenimento e il restauro degli affreschi.

I sopralluoghi e i rilievi effettuati in fase preliminare hanno messo in luce che sussistono problemi legati alla risalita di acqua alla base delle murature. Quindi si è impostato il progetto delle indagini con l'obiettivo di valutare la distribuzione di acqua all'interno delle murature, le eventuali variazioni, le cause di imbibizione, e le condizioni microclimatiche che si verificano.

In particolare, si è scelto di effettuare la mappatura delle temperature superficiali (indicative della presenza di acqua) mediante prove non distruttive quali la termografia all'infrarosso termico. Una volta rilevate le zone che maggiormente erano interessate da possibili elevati contenuti di acqua, si è proceduto alla quantificazione dell'acqua contenuta in piccoli saggi prelevati nelle zone in cui le superfici fossero di minor pregio artistico e storico (malte di precedenti restauri)¹.

I risultati sono sintetizzati nel seguito, oltre a una descrizione dettagliata delle diverse prove effettuate durante il presente intervento.

Risultati

Le prove termografiche e gravimetriche sono state effettuate a cadenza stagionale, al fine di valutare la presenza di umidità di risalita sulle murature e le variazioni in funzione delle precipitazioni atmosferiche e delle condizioni ambientali e climatiche. L'indagine termografica è stata svolta in maniera estensiva su tutte le superfici, mentre i saggi prelevati

¹ Le indagini sono state condotte nel periodo luglio 2020 – novembre 2021 con il contributo dell'architetto Megi Zala, dell'ingegnere Antonio Ammendola e delle restauratrici Gabriella Mantovani e Marzia Renosto.

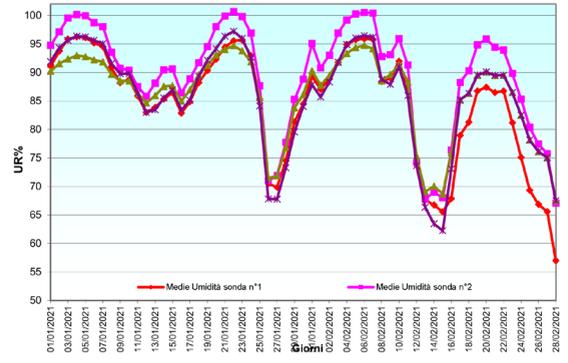
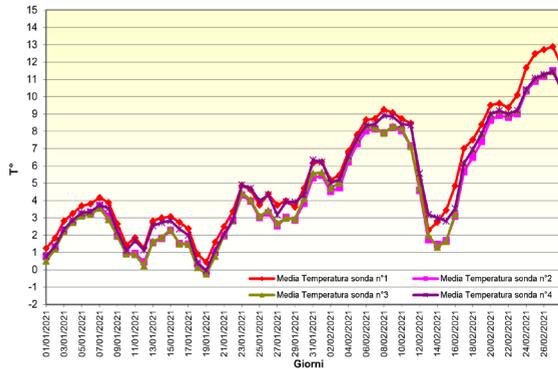


Fig. 1 Termogramma del lato sud, ripresa che include l'angolo sud-est, aprile 2021. I valori misurati dalla termocamera mostrano una zona con temperature minori alla base della parete, inoltre anche le temperature superficiali della pittura muraria nella cornice, campata centrale, presentano valori meno elevati del resto della superficie degli elevati (probabilmente a causa di una differenza di spessore della muratura). Infine, le zone nei riquadri rossi sono quelle in cui si rilevano differenze di temperatura dovute alla presenza di materiali diversi, quali malte di restauro e di manutenzione. Le zone nei riquadri corrispondono anche alla parte maggiormente degradata, a causa dei frequenti cicli di bagnatura e asciugatura, che avvengono in dipendenza dalle condizioni ambientali e per le variazioni di imbibizione.

sono stati limitati a due punti per ogni parete, sia all'interno sia all'esterno (ove possibile). La scelta dei punti di prelievo è stata determinata dalla presenza di degrado e dai risultati delle prove termografiche. In questo modo si sono ottimizzate le informazioni ottenute dall'elaborazione dei dati raccolti, limitando il prelievo di materiale.

Le indagini termografiche mostrano una distribuzione delle temperature superficiali disomogenea, con una zona a temperatura meno elevata prevalentemente alla base delle murature (fig. 1). Le prove gravimetriche confermano che alla base delle murature si rilevano elevati contenuti di acqua, soprattutto nel lato est, con valori che superano il 10%. Si ritiene quindi che nonostante le opere edili di risanamento già effettuate, siano in atto fenomeni di risalita capillare dalla base delle murature (ove a contatto col terreno).

Inoltre, all'avvio delle indagini nel luglio 2020, si è proceduto alla installazione di quattro sonde per la misura della temperatura e umidità dell'aria, con la finalità di monitorare eventuali sbilanci a cui le finiture sono naturalmente soggette, dovute alle escursioni giornaliere e alle variazioni stagionali oltre che a sbilanci legati ai cambiamenti del clima



esterno (figg. 2-3). Il monitoraggio è proseguito con un numero limitato di sonde, per poter confermare i dati già acquisiti nel 2020-2021.

I dati rilevati nel monitoraggio microclimatico hanno permesso di rilevare un andamento sincrono di tutte le sonde, ciò sta ad indicare che i valori rilevati sono simili, con una sostanziale differenza tra le sonde dei lati esposti a nord est e nord ovest, che hanno rilevato temperature di 2-3°C più elevate rispetto alle sonde esposte a sud.

Tuttavia, si notano variazioni ampie e a volte repentine, sia di Temperatura (T°C), sia di Umidità Relativa (UR%). I valori di UR sono compresi tra il 55% e il 75% in estate e con un significativo incremento in autunno e in inverno. Si rilevano altresì picchi e minimi con variazioni del 20-30% in pochi giorni. Questo può essere considerato un fattore di rischio per la conservazione dei dipinti in opera perché brusche variazioni microclimatiche comportano sbilanci che possono essere causa di degrado dovuto ai cicli di cristallizzazione e solubilizzazione dei sali presenti nei materiali storici e nel terreno umido. Il passaggio di stato dei sali, dalla fase soluta a quella di cristallo, comporta uno stress meccanico nei pori dei materiali che costituiscono le superfici storiche, con possibile deterioramento, anche rapido, degli stessi fino al distacco e perdita.

Le normative vigenti indicano che l'UR% debba essere mantenuta entro un intervallo compreso tra il 40% ed il 65%. Questo per evitare che per umidità poco elevate ci sia evaporazione dell'acqua presente nelle pareti (e quindi si potrebbe andare incontro alla formazione di sali) e per UR% invece troppo elevate si verifichi la solubilizzazione dei sali e quindi la loro diffusione anche su porzioni di muratura non attualmente interessate dal fenomeno.

Fig. 2 Grafico dei valori medi giornalieri di temperatura (T°C) nei mesi di gennaio-febbraio 2021. Le temperature mostrano un sostanziale incremento dei valori medi giornalieri, tranne alcune giornate in cui si registrano, ancora a inizio febbraio, minime attorno agli 0-1°C.

Fig. 3 Grafico dei valori medi giornalieri di umidità relativa (UR) nei mesi di gennaio-febbraio 2021. A titolo esemplificativo, si riportano i grafici dei valori medi giornalieri di T°C e UR% misurati tra l'inizio di gennaio e la fine di febbraio 2021. Si notino i valori sempre molto elevati di UR%, che raramente scendono sotto il 60%; più frequentemente sono più elevati dell'80%.

Per garantire le suddette condizioni, si suggerisce di implementare l'isolamento delle murature dal terreno, con metodi tradizionali (scannafosso, vespaio, trincea areata) o di recente sviluppo (barriera chimica o fisica). Altri sistemi, se scientificamente testati, potranno essere presi in considerazione. Intervento altrettanto risolutivo (e da considerare come integrazione necessaria di quanto già esposto) riguarda la verifica e manutenzione dei canali di gronda, displuvi, canalizzazioni per lo smaltimento delle acque meteoriche. Si suggerisce di dare priorità alle scelte progettuali più efficaci per prevenire il ristagno dell'acqua ai piedi della muratura.

Modalità delle indagini e condizioni durante le prove

1. Procedura della prova termografica

Di interesse per l'analisi ai fini della localizzazione e della mappatura di aree umide, sono i gradienti negativi (zone più fredde) che si rilevano mediante termografia all'infrarosso. È noto che in caso di superfici umide che vengano riprese in condizioni di equilibrio con l'ambiente, si presentino all'infrarosso termico con un gradiente della Temperatura superficiale sino a qualche grado. L'analisi termica dei termogrammi, il confronto con lo stato di conservazione della superficie, della struttura e dell'ambiente permette di evincere la natura dell'anomalia rilevata.

La termografia è una tecnica diagnostica non distruttiva, e consiste nella lettura dei valori delle temperature superficiali. La restituzione grafica è una mappa dove a ciascun colore è associato un diverso valore di Temperatura. Ciascun materiale possiede delle proprie caratteristiche per cui emette una radiazione nell'infrarosso termico che dipende anche da quanta "energia" ha accumulato. Il rilievo delle temperature superficiali è quindi indicativo dei materiali che sono contenuti in superficie e del loro stato di imbibizione.

Le riprese termografiche sono avvenute in modalità passiva, in condizioni stazionarie, e in assenza di precipitazioni nelle dodici ore precedenti alle indagini. La procedura di prova prevede una scansione dell'intera superficie in indagine al fine di individuare i punti in cui si verificano sbilanci termici. In quelle zone si procede ad una accurata ripresa a distanza ravvicinata e da diverse angolature, oltre al confronto con le im-

magini nel visibile, e, se possibile, con altri tipi di controlli visivi (come, ad esempio, la delicata percussione della superficie al fine di individuare possibili vuoti sottostanti, oppure l'uso di luce radente per la verifica di eventuali strati di finiture superficiali che non siano facilmente individuabili con illuminazione diffusa)². Le condizioni ambientali si sono mantenute favorevoli al rilievo delle superfici più umide per la durata delle prove, poiché l'Umidità Relativa (UR%) ambientale si è mantenuta entro l'intervallo di valori accettabili per l'attendibilità dell'indagine³.

2. Procedura delle prove gravimetriche

Per poter quantificare l'apporto di acqua liquida alle murature dal terreno, si sono effettuate due battute di misure gravimetriche lungo otto allineamenti verticali che hanno interessato le murature perimetrali (esterno e interno), a due quote e due profondità per ogni allineamento, per un totale di 32 saggi per ogni battuta. Le prove gravimetriche forniscono la misura della quantità di acqua contenuta nel campione di muratura prelevato, la cui localizzazione avviene in funzione di una preliminare valutazione del degrado ed esame termografico.

La fase di prelievo del campione assume un aspetto delicato, perché è difficile prelevare materiale in diversi punti della muratura alle medesime profondità. I prelievi superficiali vengono ottenuti con scalpello; si provoca il distacco di 2–3 gr dell'intonaco e della malta necessari per la prova gravimetrica e di massima imbibizione. Per i prelievi in profondità (oltre i 20 cm) si utilizza il trapano a basso numero di giri, munito di punta da 12 mm di diametro e 40 cm di lunghezza. La punta del trapano viene raffreddata frequentemente per evitare che il materiale si riscaldi durante la perforazione e quindi si alterino le sue caratteristiche igrome-

2 Normative di riferimento per le prove termografiche: UNI 9252/88 Isolamento termico. Rilievo e analisi qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri degli edifici. Metodo della termografia all'infrarosso; UNI EN 16714-1/2016 Prove non distruttive. Prove termografiche. Parte 1: Principi generali; UNI EN 13187/2000 Prestazione termica degli edifici. Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi. Metodo all'infrarosso. Strumentazione impiegata: sistema termovisivo all'infrarosso FPA bidimensionale non raffreddato (microbolometrico), FLIR 640 LW, operante in campo lungo (LW = 8:14 μm), risoluzione spaziale 1.4 mrad, emissività impostata 0.92.

3 Dati ambientali delle quattro battute termografiche: 13 luglio 2020 (ore 10): UR 62%; T 30°C / 19 ottobre 2020 (ore 10): UR 66%; T 12.5°C / 8 aprile 2021 (ore 10): UR 41%; T 8.5°C / 18 novembre 2021 (ore 10): UR 90%; T 9°C.

triche. Il prelievo di materiale necessario alla valutazione con metodo gravimetrico è di 2–3 gr; le polveri vengono esaminate immediatamente. La polvere raccolta durante la perforazione viene contenuta in appositi contenitori in polietilene con tappo a pressione, mentre la misura del contenuto d'acqua avviene mediante doppia pesatura del provino prelevato: al momento del prelievo e dopo l'essiccamento del campione. La percentuale di contenuto d'acqua è ottenuta in base al peso secco⁴.

3. Procedura del monitoraggio microclimatico

Sono state installate quattro sonde ambientali con data logger il 13 luglio 2020, con acquisizione oraria dei dati microclimatici sui capitelli delle colonne poste agli spigoli interni del portico. Lo scarico dei dati è bimestrale. La scelta dei punti di acquisizione in cui installare le sonde è stata basata sulla necessità di posizionare gli strumenti in modo che essere protetti da pioggia e irraggiamento solare diretto, non fossero accessibili ai visitatori (e quindi a una quota superiore ai 2,5 m dal pavimento) e lontano dagli apparecchi illuminanti⁵.

4. Bibliografia di riferimento

E. Rosina, N Ludwig, *Optimal thermographic procedures for moisture analysis in buildings materials*, in *Diagnostic Imaging Technologies and Industrial Applications*, Munich 1999, SPIE proceedings, Vol. 3827, ISSN 0277-786x, ISBN 0-8194-3313-6, SPIE ed. WA (USA), pp. 22-33. E. Rosina, E. Grinzato, *Infrared and Thermal Testing for Conservation of Historic Buildings*, in *Materials Evaluation*, ASNT Journal, Vol. 59/8, Agosto 2001, ASNT Columbus (OH) USA, pp. 942-954. N. Ludwig, E. Rosina, *Detection of the Moistened Surfaces by Active and Passive T/IR*, in *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 3, Maggio-Giugno 2001, ISSN: 03912051, Ed. CNR-IROE, Firenze 2001. E. Rosina, N. Ludwig, V. Reda-

4 Normativa di riferimento per le prove gravimetriche: UNI 11085/2003 Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Determinazione del contenuto d'acqua. Metodo ponderale. Strumentazione impiegata: termobilancia sartorius ma35, precisione 0,001 gr, trapano Wurth.

5 Normativa di riferimento per le indagini microclimatiche: UNI 10829/1999 Beni di interesse storico e artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi. Strumentazione utilizzata: sonde DATALOGGER EasyLog USB-2 per Temperatura e Umidità Relativa.

elli, *Metodi per la misura dell'umidità nei materiali dell'edilizia storica: legno e intonaci*, in *X Congresso Nazionale AIPnD*, Ravenna 2003, AIPnD, Brescia 2003, pp. 165-173. M. Milazzo, N. Ludwig V. Redaelli, E. Rosina, *Comparazione di metodi termovisivi per l'identificazione di aree umide su materiali dell'edilizia storica*, in *Archeometria del costruito. L'edificato storico: materiali, strutture e rischio sismico*, Edipuglia, Bari 2006. E. Rosina, *Prove termografiche per lo studio della struttura delle murature*, in *Il castello di Malpaga: contributi di ricerca e didattica per la conservazione*, Silvana, Cinisello B. 2008, pp. 110-116. E. Rosina, *Le indagini termo igrometriche preliminari e il monitoraggio ambientale della Sala della Asse. The Preliminary Thermo-Hygronomic Research and Environmental Monitoring of Sala delle Asse*, in *La Sala delle Asse del Castello sforzesco*, Silvana, Cinisello B. 2017, pp. 130-143. E. Rosina, G. Cadellano, G. Ferrarini, A. Bortolin, P. Bison, *Indagini strumentali al convento dei Padri Serviti: approccio attivo consolidato ed innovativo della IRT alla muratura storica in pietra. The instrumental investigation at Padri Serviti Convent: traditional and innovative active approach of IRT on historic solid masonry*, in *Il Convento dei Serviti. Un monumento architettonico e archeologico nel cuore di Capodistria*, a cura di N. Čebren Lipovec, B. Kavur, M. Osojnik, E. Rosina, K. Zanier, PoliScript, Milano 2017, pp. 67-90. *Scienza e Beni Culturali*, XXXVI, Bressanone 2020.