

INDAGINI TERMOGRAFICHE, TRASFORMAZIONI ARCHITETTONICHE E DEGRADO DEI MATERIALI NELLE CHIESE DEL CENTRO STORICO DI SILIQUA (SARDEGNA S-W)

THERMOGRAPHIC INVESTIGATIONS, ARCHITECTURAL TRANSFORMATION AND DETERIORATION OF THE MATERIALS IN THE CHURCHES OF THE CITY OF SILIQUA (SW SARDINIA)

Paolo Frongia*, Felice Di Gregorio, Giuseppe Piras*****

Riassunto

La termografia a raggi infrarossi, come noto, consente l'analisi strutturale di manufatti edilizi sulla base dell'individuazione di zone a differente temperatura e di possibili processi di scambio termico in stretta relazione con la risposta dei materiali utilizzati alle sollecitazioni termiche a cui sono interessati.

Le immagini termiche, soprattutto se acquisite mediante strumentazione caratterizzata da elevata risoluzione e sensibilità, consentono di mettere in evidenza, oltre alla presenza di anomalie legate a processi di alterazione e degradazione dei materiali utilizzati, eventuali trasformazioni architettoniche avvenute nella storia del manufatto e, in particolare, caratteri costruttivi originari nascosti da interventi posteriori.

Sulla base di questi presupposti, vengono esposti i risultati di una indagine applicata per lo studio di alcuni tra gli edifici storico-religiosi presenti nel paese di Siliqua (Sardegna sud-occidentale): la Chiesa di San Giorgio, la Chiesa di Sant'Anna e la Chiesa di Santa Margherita. La ricerca, in particolare, ha consentito di mettere in evidenza la struttura e la tessitura muraria dei prospetti principali, oggi coperta dall'intonaco e, sulla base di documenti storici e delle immagini fotografiche del passato, tarare la risposta termica acquisita in base alle specifiche caratteristiche dei materiali utilizzati.

Lo studio è stato condotto mediante l'utilizzo della *Termocamera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd)*.

Parole chiave: termografia infrarosso, architetture monumentali, degrado, materiali.

Abstract

Infrared thermography, as known, allows the analysis of structural building elements on the basis of the identification of areas at different temperatures and possible heat transfer processes in close relationship with the response of the materials used to thermal stresses to which they are interested.

* Dottore di Ricerca in Difesa del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica, Università degli Studi di Cagliari, pao.frongia1@studenti.unica.it

** Professore Associato di Geologia Ambientale, Dipartimento Scienze Chimiche e Geologiche, Università degli Studi di Cagliari, digregof@unica.it

*** Dottore di Ricerca in Geografia Ambientale, Università degli Studi di Cagliari, piras.giuseppe@tiscali.it

The thermal images, especially if acquired through instrumentation characterized by high resolution and sensitivity, allow to put in evidence, in addition to the presence of anomalies associated with processes of alteration and degradation of the materials used, any architectural transformations occurred in the history of the article and, in particular, original characters constructive hidden by later interventions.

Based on these assumptions, the thermographic method has been applied to the study of some of the historical and religious buildings in the country of Siliqua (south-western Sardinia): the Church of San Giorgio, the Church of Sant'Anna and the Church of Santa Margherita. The research, in particular, has made it possible to highlight the structure and texture of the main elevations of walls, now covered by plaster, and, on the basis of historical documents and photographs of the past, adjust the thermal response acquired with the specific materials used.

The study has been carried through non-destructive telemetry investigations through the use of Thermal Imaging Camera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd).

Keywords: infrared thermography, monumental architecture, degradation of material

I. La termografia e le sue applicazioni

Tutti i corpi emettono radiazione elettromagnetica in relazione alla propria temperatura. La termografia si fonda sulla capacità di alcuni dispositivi di rivelare l'intensità della radiazione nella zona termica dello spettro elettromagnetico (Fig. 1), cioè in una regione dell'infrarosso.

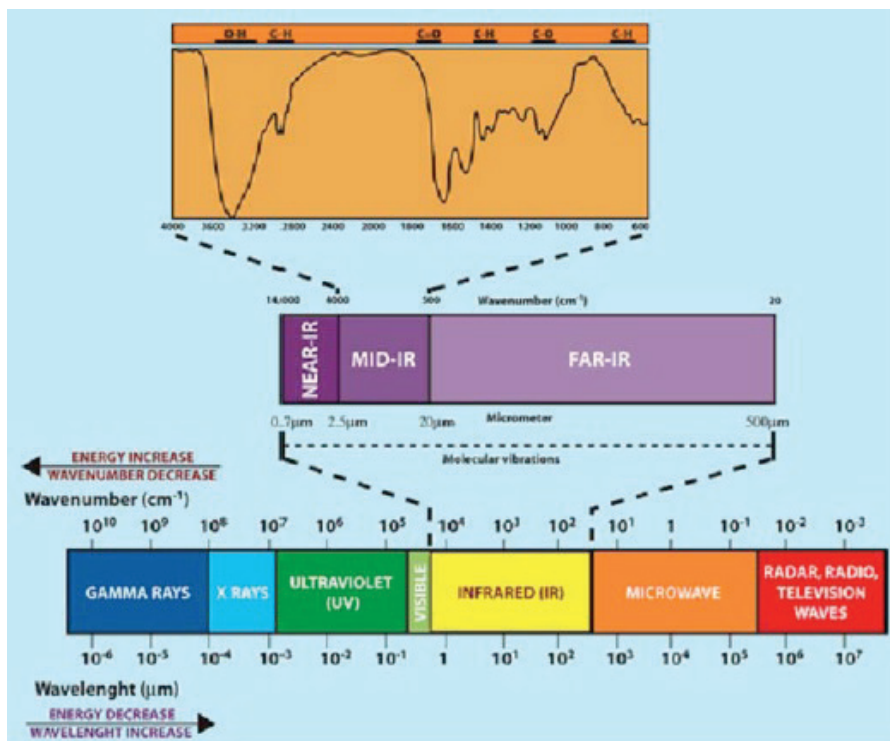


Fig. 1 – Lo spettro delle radiazioni elettromagnetiche con il dettaglio del campo dell'infrarosso termico.

La termografia infrarossa, con i sofisticati strumenti di analisi recenti, può essere concepita come una tecnica di misura per immagini della temperatura superficiale dei corpi assolutamente non invasiva.

In pratica la termografia permette di visualizzare valori assoluti e variazioni di temperatura degli oggetti indipendentemente dalla loro illuminazione nel campo del visibile. In base ai noti principi della fisica, la quantità di radiazioni emessa da un certo oggetto aumenta proporzionalmente alla quarta potenza della sua temperatura assoluta e la correlazione tra irraggiamento e temperatura è definita dalla Legge di Stefan Boltzmann (Atkins P., De Paula J., 2004) con la formula che segue

$$q = \epsilon \sigma T^4$$

ove σ è la costante di Stefan-Boltzmann e vale $5,6703 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, ϵ è l'emissività della superficie emittente (variabile tra i limiti teorici 0 e 1) e T è la sua temperatura assoluta.

Negli strumenti moderni, per semplicità e immediatezza di lettura, i livelli di grigio strumentali vengono convertiti in una scala convenzionale di colori che va dal blu scuro al rosso chiaro per ottenere un'indicazione quali-quantitativa immediata della temperatura rilevata, dalla più fredda alla più calda.

Nell'edilizia, nell'architettura e nell'ingegneria la termovisione, proprio in quanto mezzo di diagnosi non distruttiva, presenta un vasto campo di applicazioni come il rilevamento della presenza di umidità, l'identificazione di elementi architettonici nascosti, l'individuazione di distacchi negli intonaci o la presenza di lesioni ad essi sottostanti, lo stato di conservazione o degrado dei materiali, ecc..

Le discontinuità termiche causate dalla presenza di difetti o danneggiamenti, che si originano su una superficie muraria in seguito a cedimenti strutturali, infiltrazioni, riscaldamento, sono chiaramente evidenziabili nelle immagini termiche mediante l'impiego di termocamere ad alta risoluzione termica come quella utilizzata nel presente lavoro e di opportune tecniche di *imaging*. In sintesi il metodo termografico può essere impiegato in tutte le situazioni dove la variazione della temperatura superficiale è attribuibile a discontinuità nelle proprietà tecniche del materiale utilizzato nelle costruzioni o a particolari condizioni strutturali.

I moderni sistemi di visione ed analisi termografica computerizzati consentono sempre nuove applicazioni sia per scopi di ricerca che industriali soprattutto per le sue capacità di consentire analisi non distruttive e monitoraggio ambientali in tempi rapidi ed a costi economicamente sostenibili.

Uno dei principali campi di applicazione della termografia riguarda la diagnostica dei materiali e delle cosiddette "patologie" edilizie. Infatti tutti gli edifici, anche se realizzati a regola d'arte, nel corso del tempo sono soggetti a degrado a causa dell'invecchiamento dei materiali e delle carenze o delle mancanze di manutenzione.

Per una più accurata analisi dello stato di degrado dei manufatti monumentali o di opere di pregevole interesse architettonico, la termografia viene affiancata ad altri interventi parimenti non invasivi ma in molti casi essa viene utilizzata come unico metodo di indagine.

I principali campi di applicazione della termografia nell'edilizia sono:

- analisi del degrado dei materiali costruttivi dovuto ad umidità o all'alterazione meteorica
- verifica dell'isolamento termico e delle dispersioni negli edifici per contenere i consumi di energia
- ricerca di infiltrazioni o di venute d'acqua
- verifica delle impermeabilizzazioni di solai e delle coperture
- ricerca di elementi e particolari costruttivi nascosti da intonaci

L'analisi termografica, inoltre, può essere condotta in condizioni attive e passive. Nel primo caso l'elemento da indagare viene riscaldato onde incrementare la risposta termografica e, contestualmente, attivare i flussi di calore che consentono di ottenere diverse risposte dagli elementi a diversa capacità termica. Nelle condizioni passive, invece, si analizza la superficie così come essa si presenta magari nelle condizioni di massima insolazione. Quest'ultimo metodo è quello utilizzato più di frequente nelle indagini che riguardano elementi esterni di edifici quali facciate, pareti e terrazze di copertura che vengono svolte sfruttando il soleggiamento diretto ed analizzando la risposta termica delle superfici al momento dell'indagine.

Nel presente lavoro le indagini sono state effettuate in una giornata ben soleggiata e nelle ore del primo pomeriggio dopo che le superfici erano state a lungo irradiate dall'energia solare mediante l'uso della termocamera le cui caratteristiche sono riportate nella tabella che segue (Tab. 1).

Specification	
Measuring range	- 20 ~ 60 °C
Resolution	0.06 °C at 30°C (30Hz)
Spectral range	8 ~ 13 μm
I.F.O.V.	0.6 mrad
Field of view	21.7°(Horizontal) x 16.4°(Vertical)
Thermal image pixels	640 (H) x 480 (V)

Tab. 1 – Principali caratteristiche tecniche della termocamera NEC TH9260 utilizzata nella ricerca.

2. Considerazioni sul deterioramento dei materiali costituenti il patrimonio monumentale ed architettonico

Negli ultimi due decenni, gli studi sull'alterazione e deterioramento, del nostro patrimonio architettonico e monumentale ha fatto notevoli passi avanti grazie anche alle esperienze maturate in seno dall'Istituto Centrale del Restauro ed ai risultati conseguiti nel mondo della ricerca.

Lo stesso è accaduto in altri Paesi, ed in particolare in Francia, grazie al contributo di geologi, geomorfologi, petrologi e geofisici dei materiali facenti parte del "pole pierre" Laboratoire de Recherche de Monuments Historique (LRMH) de Champs sur Marne (Philippon et. Alii. 1992; Sellier, 1997 André et Philip 2012).

Molti dei lavori, inerenti l'argomento sono stati incentrati sull'ineguale durabilità dei materiali da costruzione, e dunque sulla loro variabilità geografica ma anche sull'accelerazione del deterioramento contemporaneo dei materiali utilizzati in architettura (AA.VV., 2013).

Infatti, molti edifici monumentali mostrano in genere dei segni inquietanti di alterazione e deterioramento delle pietre, sia portanti che del rivestimento, con differenti sintomi di questa "malattia delle pietre", che si traduce in disaggregazione granulare, desquamazione, frammentazione in scaglie e in alveolizzazione in funzione dei diversi tipi di materiali utilizzati.

Alcuni autori, hanno proposto anche possibili scale empiriche di durabilità delle rocce che mostrano nella parte alta dei materiali mineralogicamente e petrograficamente diversi ma aventi in comune una certa omogeneità tessiturale o della trama cristallina (es. rocce cristalline come i graniti leucocrati, vulcaniche come i basalti e le trachiandesiti, marmi e calcari oolitici). All'opposto nei livelli inferiori della scala figurano i calcari marnosi o marnoso arenacei; mentre i graniti melanocrati (a biotite e clorite) occupano una posizione intermedia. (AA.VV., 2013).

Per lo studio del degrado dei materiali, impiegati nella costruzione o nel rivestimento degli edifici e monumenti, vengono privilegiati metodi non distruttivi, e mediante rilievi laser scanner, fotogrammetrici, ultrasonici e termografici, mentre le analisi distruttive, in molte situazioni inutilizzabili, consentono di conoscere le caratteristiche fisico-chimiche, mineropetrografiche. Tuttavia, migliori risultati possono essere conseguiti mediante l'applicazione di metodi integrati (Di Gregorio, Fai et. Alii 2005), come ad esempio l'applicazione di tecniche acustiche ad ultrasuoni e termografiche. Nel presente lavoro vengono presentati i risultati di indagini condotte mediante l'uso di una termocamera ad alta risoluzione e rilevazioni e osservazioni dirette sui materiali costruttivi.

3. Le strutture architettoniche analizzate

Indagine termografiche di cui nel presente lavoro riguardano lo studio di tre edifici religiosi di interesse storico-architettonico ubicati nel centro storico e nel territorio di Siliqua (Sardegna sud-occidentale): la Chiesa di San Giorgio, la Chiesa di Sant'Anna e la Chiesa di Santa Margherita.

Tra queste la parrocchiale di Siliqua, intitolata a San Giorgio martire, si trova nel centro storico del paese ed è costituita essenzialmente da navata unica con cappelle laterali. Studi storici hanno accertato una cronologia per la sua edificazione che oscilla tra la fine del XII – inizi XIII sec.; rispetto al primo impianto romanico, la chiesa ha subito diverse modifiche dell'assetto architettonico, fino ai lavori di restauro avvenuti nel 1984.

La Chiesa di Sant'Anna, considerata per tradizione la prima parrocchiale, ubicata anch'essa nel centro di Siliqua, è interamente concepita secondo lo schema gotico catalano, con un'unica navata e pianta a croce latina. La sua fondazione è fatta risalire a prima del 1481 sulla base di un documento che, datato in quell'anno, attesta i lavori di riedificazione di una chiesa preesistente completamente caduta in rovina. Anch'essa è stata interessata da modifiche strutturali ed architettoniche nel corso del tempo.

La Chiesa di Santa Margherita, ubicata nella campagna limitrofa al paese, presenta una navata unica e il tetto con intavolatura in legno e in tegole; anche dopo il restauro, avvenuto nel 1947, presenta le forme primarie gotico-catalane con facciata a terminale piano orlato di merlatura che, secondo le attestazioni storico-architettoniche, risale probabilmente al 1600.

4. Risultati delle indagini

Le indagini termografiche hanno consentito di individuare, coerentemente con la ricostruzione storica e documentale degli edifici considerati, la struttura e la tessitura del paramento murario relativo alla facciata principale, costituito essenzialmente da trovanti o conci più o meno squadrati in pietra, ma oggi rivestito da intonaco, nonché le modificazioni architettoniche intervenute rispetto all'impianto originario.

Nel caso della Chiesa di San Giorgio, in particolare, la mappa termica "a scacchiera", con zone relativamente più calde e più fredde, ha messo in risalto l'eterogeneità del materiale litoide utilizzato per l'edificazione della facciata principale, caratterizzata dall'alternanza, seppur senza una predefinita regolarità, di conci squadrati di media pezzatura, concorde con lo stile romanico del quale si rinvennero numerose testimonianze analoghe in Sardegna.

Documenti fotografici storici relativi alla facciata frontale e successivi alla rimozione dell'intonaco in occasione dei lavori di restauro avvenuti nel 1984, ha messo in esposizione l'antico paramento murario e il riconoscimento delle strutture relative al primo impianto dell'edificio nonché le modificazioni intervenute; tali immagini, messe a confronto con le mappe termografiche acquisite, hanno consentito, inoltre, di verificare e tarare la risposta termica dei diversi materiali litoidi utilizzati negli altri edifici studiati per le applicazioni analoghe.

In particolare, relativamente alla prima fase costruttiva, il basamento della chiesa, tenuto conto delle indicazioni storiche, è caratterizzato dall'uso del medesimo litotipo nello stesso filare; in dettaglio i primi ordini in elevazione sono composti da tre filari in pietra dacitico-andesitica, verosimilmente ascrivibili all'Unità di Monte Sa Pibionada e piroclastici di Siliqua (Oligocene sup.; ISPRA – Servizio Geologico d'Italia; 2009), a cui si alternano un filare in arenarie della formazione del Cixerri (Eocene med.-sup. – Oligocene; Barca et al., 1973) e altri tre in calcare marnoso miocenico proveniente dalle colline di Cagliari ("Pietra cantone" Auct.; Fais et al., 2011).

Il profilo termico, indicato con Linea 2 in Figura 2-c, mette in evidenza i *pixel* isotermici, caratterizzati da basso DT, relativi all'allineamento basale costituito da litotipi essenzialmente dacitico-andesitici.

L'opera muraria sovrastante è, invece, costituita da conci calcarei e dacitico-andesitici in alternanza non regolare, con disposizione a corsi orizzontali, come anche messo in evidenza nel profilo termico in Figura 2-c (Linea 1) tracciato nella mappa termica della facciata (Figura 2-a), caratterizzato dall'inversione dell'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti con DT ben distinto.

L'analisi termografica ha consentito, inoltre, di distinguere la facciata a due spioventi, costituita essenzialmente da conci dacitico-andesitici, coronata in sommità da un campanile a vela a due luci.

Il prospetto quadrato della facciata attuale è legato all'opera di sopraelevazione delle falde laterali mediante l'utilizzo di conci aventi pezzatura maggiore, prevalentemente di calcare compatto e calcare marnoso ("pietra forte" Auct. e "pietra cantone" Auct.; Fais et al., 2011) delle sequenze mioceniche delle colline di Cagliari, disposti sia in orizzontale sia in verticale.

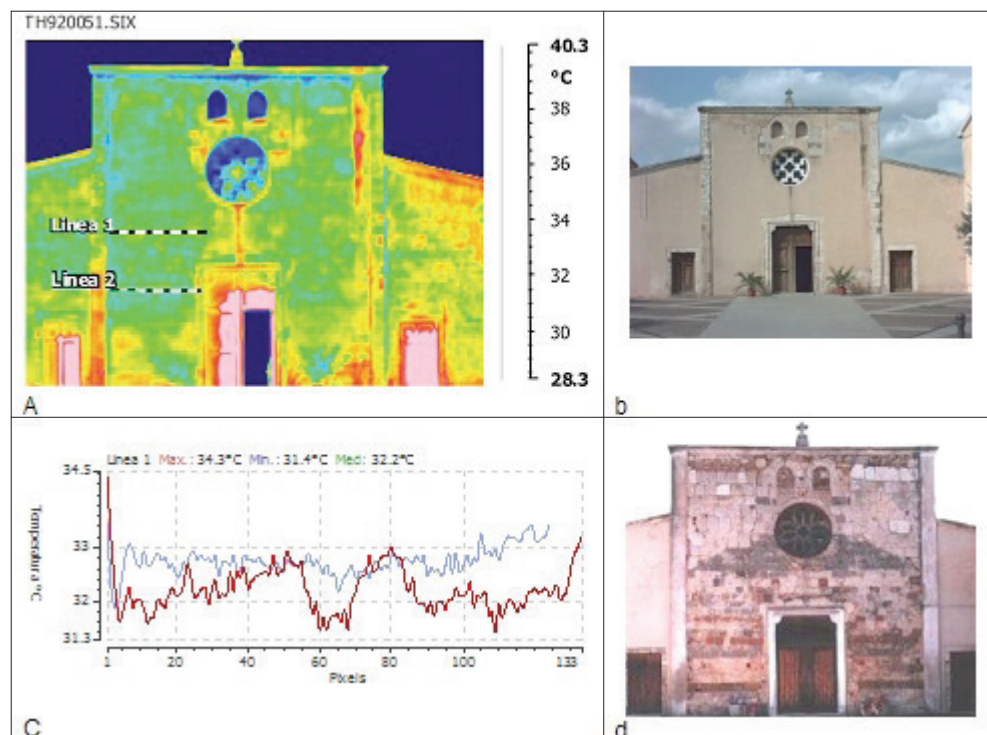


Fig. 2 – Chiesa di San Giorgio. Mappa e profili termici relativi alla Linea 1 (in rosso) e Linea 2 (in azzurro)

La mappa termica relativa alla facciata principale della Chiesa di Sant'Anna mette in evidenza, al di sotto dell'intonaco, la struttura e la tessitura originaria della facciata in pietra a opera incerta (Figure 3-a), con trovanti di varie dimensioni e diverso litotipo, arrotondati o leggermente smussati, di natura alluvionale, come attestato dalla documentazione fotografica del recente passato (Figura 3-d). Il profilo termico lungo la Linea 1 (Figura 3-c), tracciato nella mappa termica della facciata (Figura 3-a), mette in evidenza la risposta termica caratterizzata, in questo caso, dall'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti ad alta frequenza e con DT relativamente marcato.

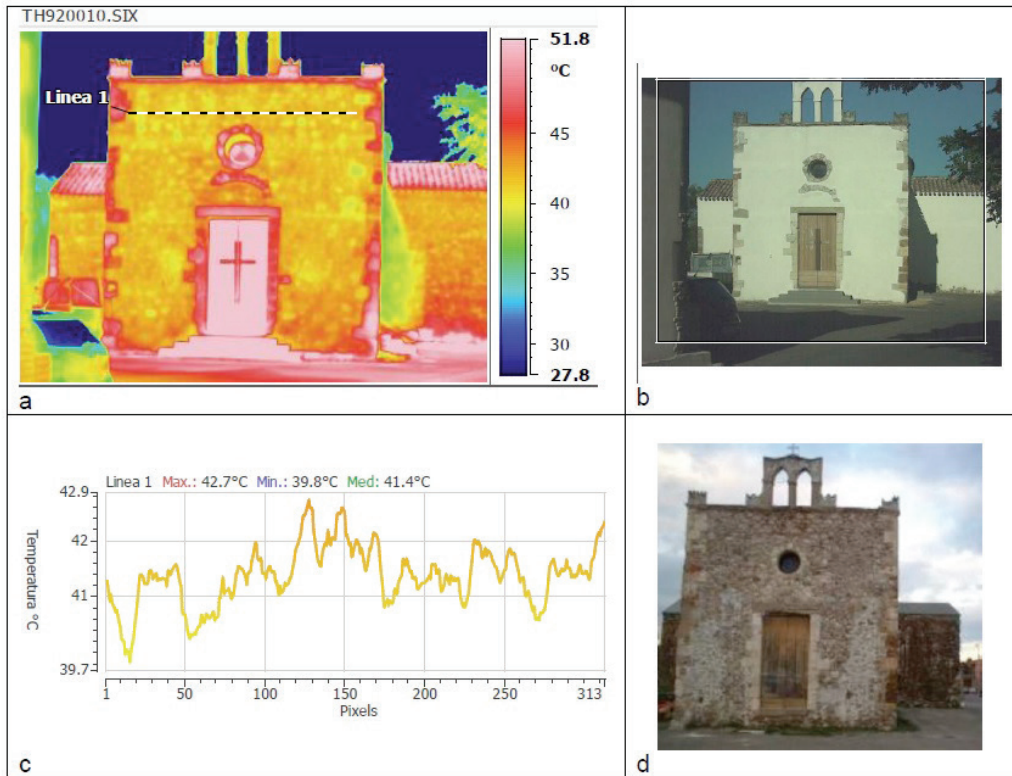


Fig. 3 – Chiesa di Sant'Anna. Mappa termica e profilo termico relativo lungo la Linea 1.
A destra immagine prima e dopo il restauro della struttura

Anche nel caso della Chiesa di Santa Margherita la struttura muraria ad opera incerta con trovanti lapidei poligenetici, di ambiente presumibilmente fluviale, ben visibile nei prospetti laterali e retrostante non intonacati (Fig. 5 -b, 5-d), è stata messa in evidenza dalla mappatura termica acquisita nella facciata frontale (Fig. 4-a), oggi mascherata dall'intonaco.

Il profilo termico di dettaglio effettuato nella facciata frontale (Figura 4-e), anche in questo caso, mette in evidenza l'allineamento di *pixel* termici a picchi contrapposti ad alta frequenza in risposta alla notevole variabilità dei materiali costituenti la struttura muraria, rappresentati da pietrame alluvionale poligenetico, ma con DT piuttosto attenuato. La risposta termica degli stessi materiali, esposti nei prospetti laterali e retrostante, denota, come visibile nel relativo profilo, DT più marcati (Fig. 4-e). Il

confronto tra le mappe termiche relative al prospetto frontale e quello laterale consente di comparare la distribuzione delle temperature sulla superficie dell'involucro; l'attenuazione delle differenze termiche nei due prospetti, in particolare, è correlabile alla presenza dello spesso e omogeneo intonaco di rivestimento oltre che alla diversa esposizione e all'irraggiamento dei due prospetti.

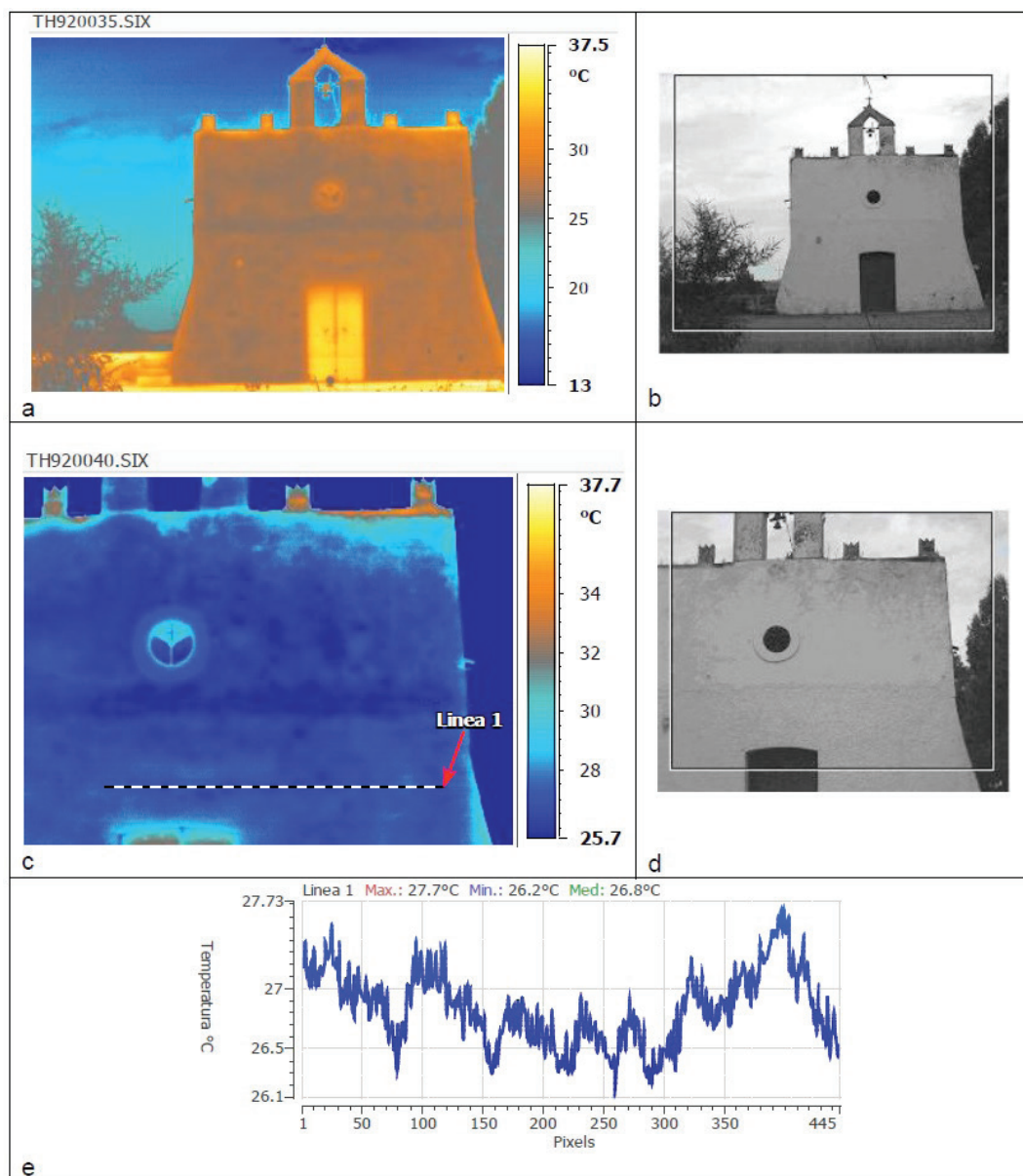


Fig.4 – Prospetto frontale della Chiesa di Santa Margherita. Mappa e profilo termico relativo alla Linea 1.

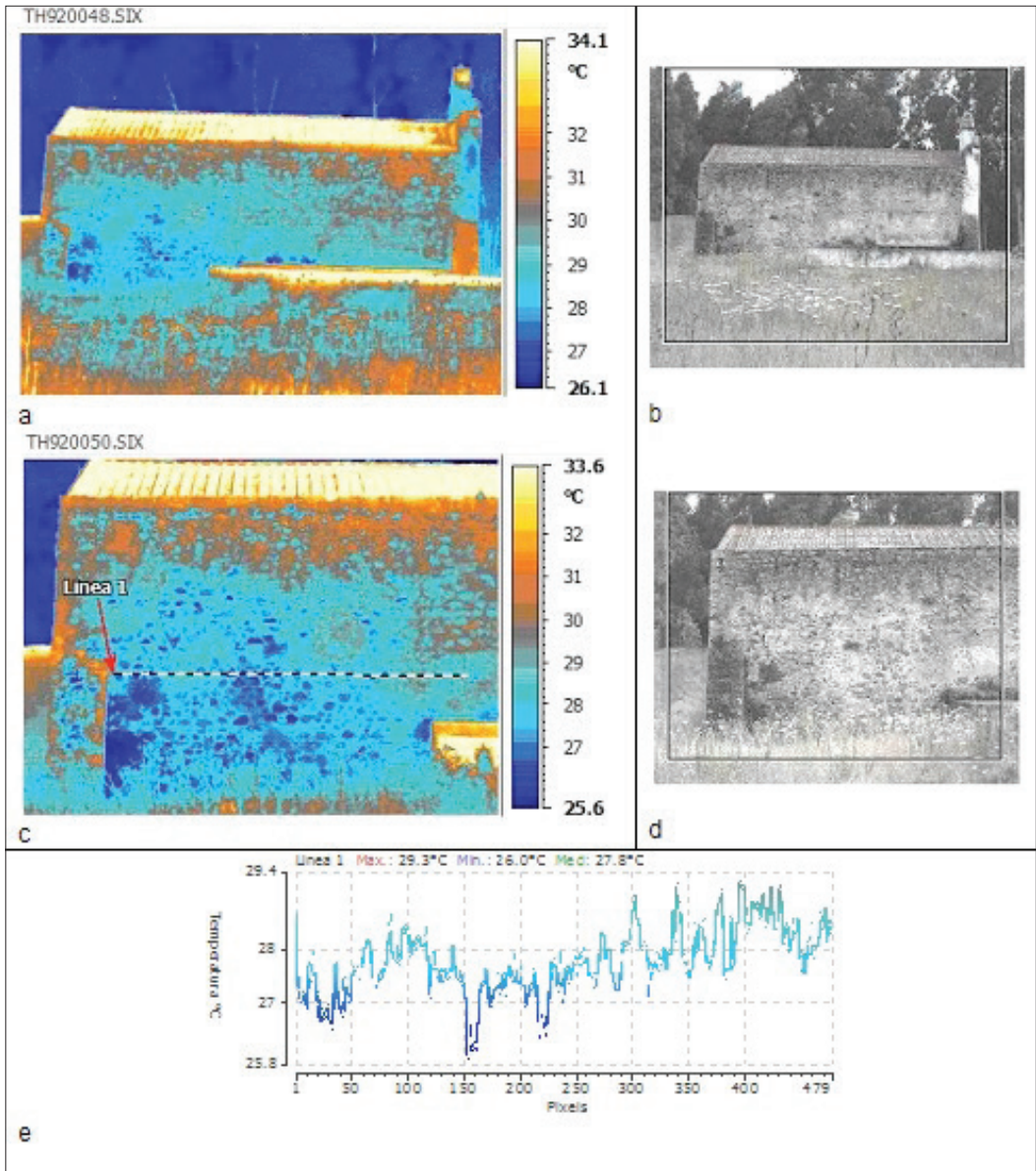


Fig. 5 – Mappa e profilo termico relativi al prospetto laterale della Chiesa di Santa Margherita

5. Scheda tecnica relativa ai materiali da costruzione

I rilievi effettuati sugli edifici storico-religiosi considerati nel centro storico e nel territorio di Siliqua hanno permesso di riconoscere, oltre allo stato di degrado, anche i materiali litoidi impiegati, le cui principali caratteristiche litologico-tecniche sono sinteticamente descritte nelle schede che seguono.

	<p>Arenarie della formazione del Cixerri (Eocene med.-sup. – Oligocene). I conchi sono costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche, di colore rossastro-ocra, a tessitura tipicamente clasto-sostenuta e, in subordine, matrice argillosa.</p>
	<p>“Pietra forte” Auct., Calcari di Cagliari (Tortoniano-Messiniano). Trattasi di blocchi ricavati da calcari biohermali e biostromali, biancastri, massivi, con contenuto in Ca-(Mg)CO₃ compreso tra 97-100%, classificabile come una biosparite – biolitite (Folk, 1980).</p>
	<p>“Pietra cantone” Auct., Calcari di Cagliari (Tortoniano). I blocchi da costruzione sono di natura calcareo-marnoso-arenacea, di colore giallastro, con stratificazione irregolare e marcata bioturbazione, con contenuto in Ca-(Mg)CO₃ compreso tra 86-90%, classificabile come una biomicrite (Folk, 1980).</p>
	<p>Daciti e andesiti di Monte Sa Pibionada, Auct. e piroclastici di Siliqua, Auct. (Oligocene sup.). Si tratta di blocchi provenienti da rocce di origine vulcanica, a composizione da dacitica a quarzo-andesitica, con colori variabili dal grigio verde al violaceo al bruno, struttura e tessitura porfirica, nonché depositi di flusso piroclastico ed epiclastico.</p>

6. Conclusioni

Le analisi termografiche eseguite presso le antiche chiese ubicate all'interno del centro storico di Siliqua e nel territorio limitrofo, hanno consentito di mettere in evidenza, la struttura delle facciate principali e la tessitura muraria e i particolari costruttivi originari nascosti da rivestimenti successivi nonché riconoscere le trasformazioni architettoniche avvenute nel tempo rispetto all'impianto originario degli edifici, così come testimoniato anche dalla documentazione storica.

Le indagini hanno anche messo in luce lo stato di conservazione dei materiali costruttivi, soprattutto in relazione al contatto con il terreno di fondazione, come denotano evidenti fenomeni di alterazione dei livelli litoidi basali, soprattutto della "pietra cantone" Auct. e delle arenarie del Cixerri. Questi fenomeni sono ben osservabili nelle variazioni cromatiche delle immagini termiche e nei relativi profili, legate alla presenza di umidità e ben visibili anche nelle osservazioni dirette in loco, che denotano la presenza di distacchi e rigonfiamenti degli intonaci recenti, in conseguenza della risalita capillare.

Nell'insieme, viene ancora documentato che il metodo termografico costituisce un valido apporto conoscitivo, non invasivo, per la riscoperta dei caratteri originari di edifici di importanza storica e per lo studio delle trasformazioni avvenute nel tempo, e per la conoscenza dello stato di conservazione, rivestendo pertanto, applicazione ottimale in tutti gli interventi nel campo della salvaguardia dei beni di interesse storico architettonico e monumentale (Geraldini et al., 2008; Grinzato et al., 1982).

Note: Lavoro realizzato presso il "Laboratorio di Geologia ambientale e termografia" del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari (Resp. Prof. Felice Di Gregorio)

Bibliografia

- AA.VV. (2013) *Géomorphologie de la France*. Edizioni Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-059508-2
- ANDRE M., PHALIP B. (2010) "Rates of stone recession on Mediaeval monuments: some thoughts and methodological perspectives", *Cadernos Lab. Xeolóxico de LaxeCoruña*. Vol. 35, pp. 13-40 ISSN: 0213-4497
- BARCA S., MAXIA C., PALMERINI V. (1973) "Sintesi sulle attuali conoscenze relative alla Formazione del Cixerri (Sardegna sud-occidentale)", *Boll. Serv. Geol. It.*, 44 (2): 307-318, Roma, Nuova Tecnica Grafica.
- F. DI GREGORIO, S. FAIS, F. MURGIA (2005) *Applicazione integrata di tecniche acustiche e termografiche per la valutazione dello stato di conservazione dei materiali in opera* – Numero speciale "Le applicazioni geofisiche in campo ambientale" *Rivista Geologia dell'Ambiente SIGEA*, N. 2 – 2005
- FAIS S., FERRARA C., FRONGIA P., LIGAS P., PIRAS G. (2011), "Digital processing of infrared thermography and ultrasonic signals in the diagnostics of carbonate building materials", 16th Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Poster Session, Vienna, November 14-16 2011.
- FOLK R.L. (1980), *Petrology of sedimentary rocks*, Austin (Texas) U.S.A., Hemphill Publishing Co, 2nd edition: 184 pp.
- GERALDI E., GIZZI F.T., MASINI N. (2008), "Termografia all'infrarosso ed archeologia dell'architettura: alcuni esempi", *GNGTS- Atti del 22° Convegno Nazionale* /12.18.

- GRINZATO E., VAVILOV V., KAUPPINEN T. (1998), "Quantitative infrared thermography in buildings", *Energy and Buildings*, 29: 1-9, Elsevier Science S.A., New York.
- GIOVANNONE C., IOELE M., SANTOPADRE P., SANTAMARIA U., "Intonaci ad alto contenuto salino: efficacia del trattamento con idrato di bario". *Bollettino Istituto Superiore Conservazione e Restauro* n°6-7 (2003)
- ISPRA (2009), Servizio Geologico d' Italia *Nota illustrativa della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 556 "Assemmini"*.
- BARTOLINI M., PIETRINI A.M., RICCI S., Valutazione dell'efficacia di alcuni nuovi biocidi per il trattamento di microflora fotosintetica e di briofite su materiali lapidei, – *Bollettino Istituto Superiore Conservazione e Restauro* n°14 (2007)
- SELLIER D., (1997) "Utilisation des mégalithes comme marqueurs de la vitesse d'érosion des granites en milieu tempéré: enseignements apportés par les alignements de Carnac" (Morbihan). *Zeitschrift für Geomorphologie*, 41/3, p. 319-356.
- PHILIPPON J., JANNETTE D., LEFEVRE R.-A. (1992) "La conservation de la pierre monumentale et France", Paris Presses du CNRS.
- www.comune.siliqua.ca.it, (2012), Le Chiese.