

Indagini termografiche e trasformazioni architettoniche nelle chiese del centro storico e nel territorio di Siliqua (Sardegna sud-occidentale)

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

(*) Dottorando in Difesa del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e Protezione Idrogeologica, Università di Cagliari, pao.frongia1@studenti.unica.it

(**) Professore Associato di Geologia Ambientale, Dipartimento Scienze della Terra, Università di Cagliari, digregof@unica.it

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

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, il metodo termografico è stato applicato 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.

Per lo studio su edifici storici è stata condotta una campagna di indagini telemetriche non distruttive mediante l'utilizzo della *Termocamera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd)* della quale si riportano nel prospetto seguente le principali caratteristiche operative.

<i>Specification</i>	
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)

Abstract

IR 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. 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.

For the study of historic buildings has been carried out non-destructive telemetry investigations through the use of Thermal Imaging Camera IR Thermo Tracer TH9260 (NEC Avio Infrared Technologies Co., Ltd) of which are shown in the table above the main operational characteristics.

Le strutture architettoniche analizzate

Nel presente lavoro l'indagine termografica è stata applicata per lo studio di tre storici edifici religiosi 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.

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.

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 rinvengono 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 1-c, mette in evidenza i *pixel* isotermici, caratterizzati da basso ΔT , relativi all'allineamento basale costituito da litotipi essenzialmente dacitico-andesitici.

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

L'analisi termografica consente, 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.

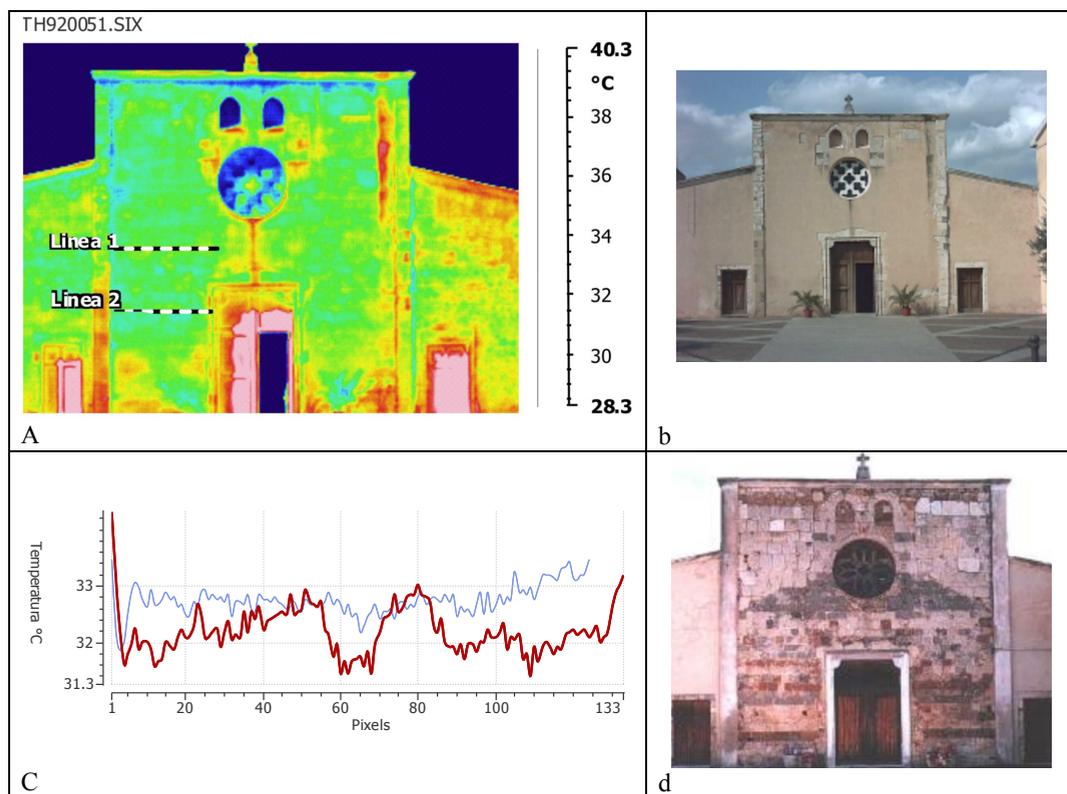


Figura 1. Chiesa di San Giorgio. Mappa e profili termici relativi alla Linea 1 (in rosso) e Linea 2 (in azzurro).

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 2-a), con trovanti di varie dimensioni e diverso litotipo, arrotondati o leggermente sbazzati, di natura alluvionale, come attestato dalla documentazione fotografica del recente passato (Figura 2-d). Il profilo termico lungo la Linea 1 (Figura 2-c), tracciato nella mappa termica della facciata (Figura 2-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.

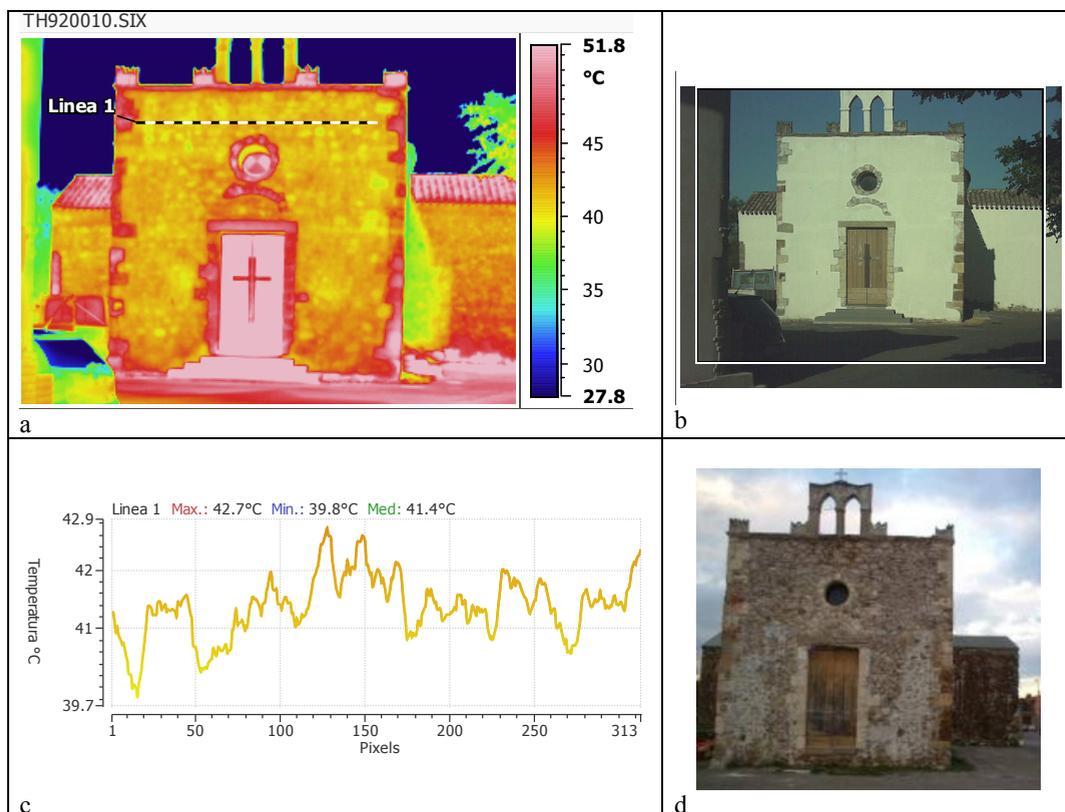


Figura 2. Chiesa di Sant'Anna. Mappa termica e profilo termico relativo lungo la Linea 1. A destra immagine prima e dopo il restauro della struttura.

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 (Figure 4 -b, 4-d), è stata messa in evidenza dalla mappatura termica acquisita nella facciata frontale (Figura 3-a), oggi mascherata dall'intonaco.

Il profilo termico di dettaglio effettuato nella facciata frontale (Figura 3-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 (Figura 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.

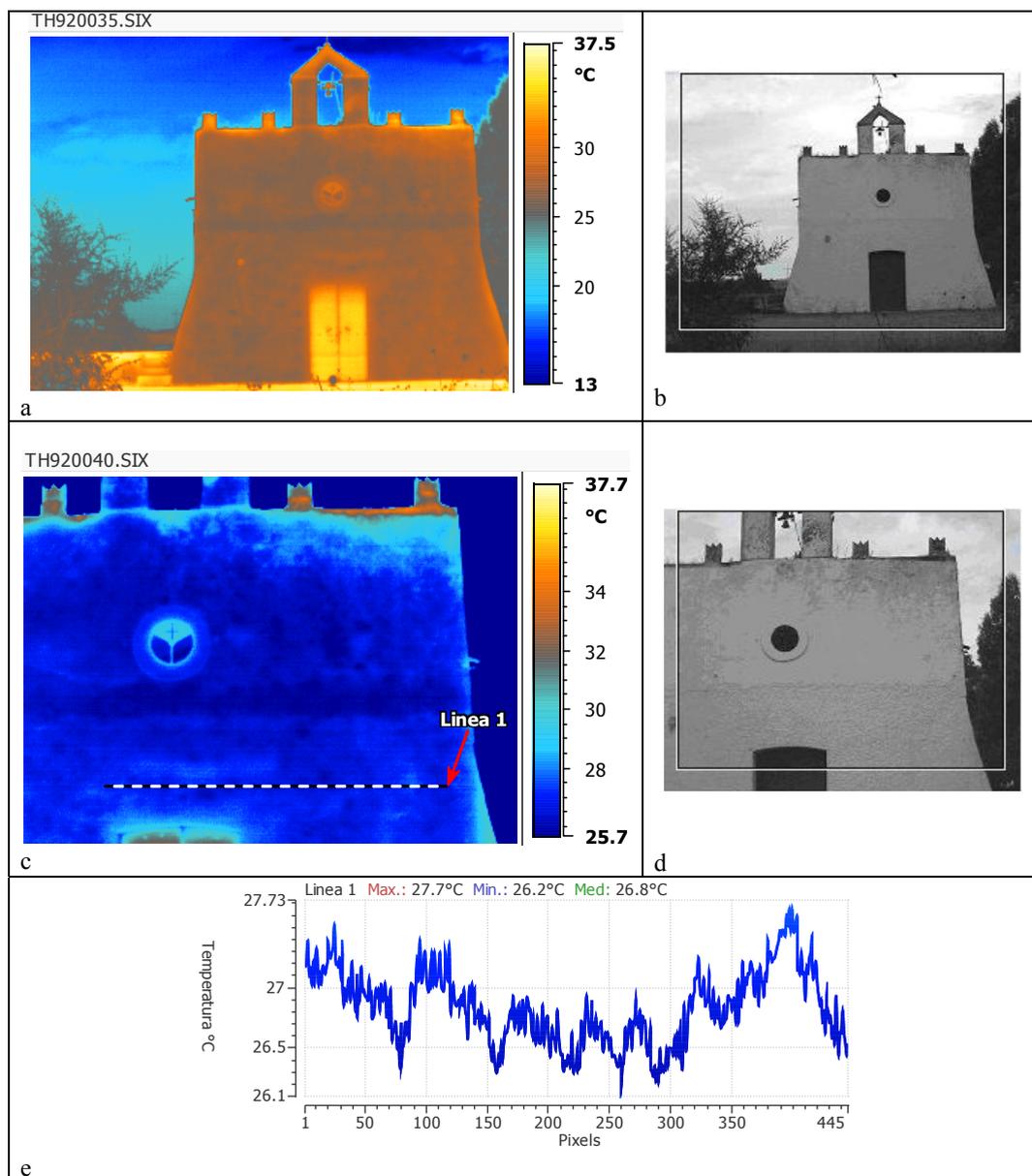


Figura 3. Prospetto frontale della Chiesa di Santa Margherita. Mappa e profilo termico relativo alla Linea 1.

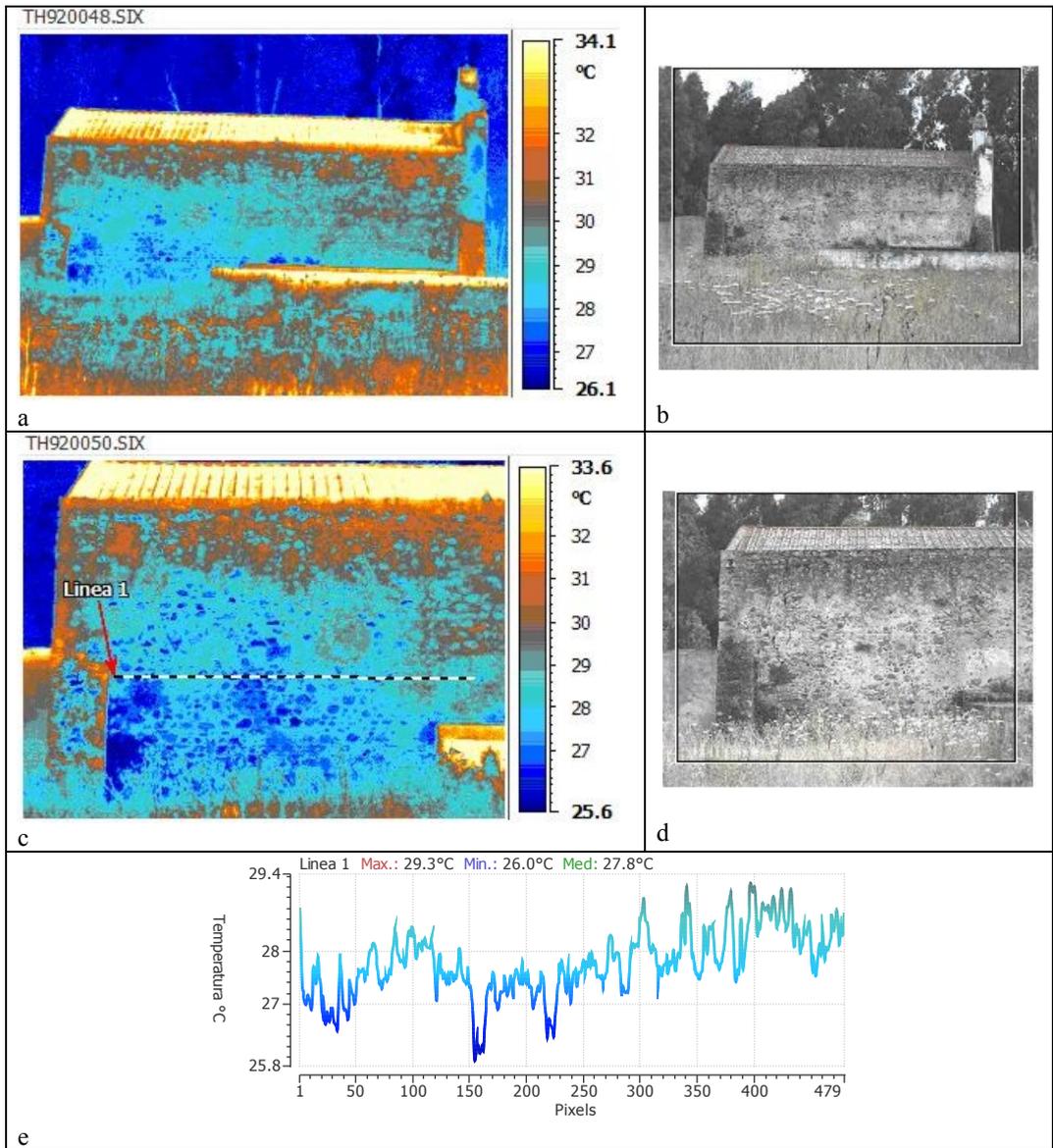


Figura 4. Mappa e profilo termico relativi al prospetto laterale della Chiesa di Santa Margherita.

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 l'impiego dei materiali litoidi brevemente descritti nelle seguenti schede.

	<p><i>Arenarie della formazione del Cixerri</i> (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><i>“Pietra forte” Auct., Calcari di Cagliari</i> (Tortoniano-Messiniano). Trattasi di blocchi ricavati da calcari biohermali e biostromali, biancastri, massivi, con contenuto in $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$ compreso tra 97-100%, classificabile come una biosparite – biolitite (Folk, 1980).</p>
	<p><i>“Pietra cantone” Auct., Calcari di Cagliari</i> (Tortoniano). I blocchi da costruzione sono di natura calcareo marnoso-arenacea, di colore giallastro, con stratificazione irregolare e marcata bioturbazione, con contenuto in $\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$ compreso tra 86-90%, classificabile come una biomicrite (Folk, 1980).</p>
	<p><i>Daciti e andesiti di Monte Sa Pibionada, Auct. e piroclastici di Siliqua, Auct.</i> (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>

Conclusioni

Le analisi termografiche eseguite presso le antiche chiese ubicate all'interno e nel territorio limitrofo l'abitato di Siliqua (Sardegna sud-occidentale) hanno consentito di mettere in evidenza, soprattutto relativamente alle facciate principali, la struttura e la tessitura muraria e i particolari costruttivi originari nascosti da rivestimenti successivi (intonaci) nonché appurare 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 evidenza le condizioni di conservazione dei materiali costruttivi, soprattutto al contatto con il terreno; in particolare, sono evidenti fenomeni di alterazione dei livelli litoidi basali, soprattutto della "pietra cantone" Auct. e delle arenarie del Cixerri, come denotano le manifestazioni di umidità, spesso evidenziate da 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, rivestendo, pertanto, applicazione ottimale in tutti gli interventi nel campo dei beni culturali finalizzati alla conoscenza e alla salvaguardia delle architetture di interesse storico (Geraldi et al., 2008; Grinzato et al., 1982).

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)

Riferimenti bibliografici

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.

Fais S., Ferrara C., Frongia P., Ligas P., Piras G. (2011), "Digital processing of ir 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.

ISPRA - Servizio Geologico d' Italia (2009), *Nota illustrativa della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50.000, Foglio 556 "Assemini"*.

www.comune.siliqua.ca (2012), Le Chiese.