

L'ANTICA PIEVE DI CANTALOVO E I SEGNI DEL TERREMOTO:

DALLE MAPPE DI DEFORMAZIONE ALLA STRATIGRAFIA

NELLA RICERCA E IDENTIFICAZIONE DEI MECCANISMI DI CROLLO

di Elena Bonali, Arianna Pesci, Giuseppe Casula e Enzo Boschi



L'intervento di restauro non può prescindere dalla comprensione storica e strutturale del monumento ove il primo aspetto si esaurisce in un accurato studio delle fonti storiche e nella lettura dei segni architettonici mentre il secondo approfondisce gli assetti di equilibrio che nei secoli sono stati assunti dalla costruzione in risposta a mutati stati di equilibrio. Entrambi gli aspetti sono sintetizzati dalle mappe di deviazione ottenute dall'elaborazione dei dati del rilievo laser scanner e opportune primitive rappresentanti i macro-elementi in cui viene suddivisa la struttura.

In particolare, coniugando la lettura delle mappe di deformazione con tecniche di lettura tematica del monumento si è sviluppato un metodo efficace per individuare precocemente i meccanismi di danno da terremoto e per ricostruirne la storia del danno. Tale metodo è ancora più utile in condizioni di pericolo in quanto esso si basa su tecniche che non necessitano del contatto con l'edificio. La pieve di Cantalovo (Verona, Italia), colpita da sisma nel XII sec., è stata studiata portandone alla luce la storia dei danni e gli attuali meccanismi di danno in atto.

“È fondamentale, nel campo del restauro, comprendere il comportamento della struttura, ovvero i suoi schemi di risorsa che sono degli stati di equilibrio con cui la fabbrica si è spontaneamente difesa, ma che durano da secoli per il contrasto e la solidarietà delle strutture murarie; il turbarli e l'avviare un diverso sistema di azioni porta talvolta alla necessità di rifare tutto” (Giovannoni, 1946). Nel campo della teoria del restauro gli assiomi di base hanno spesso richiesto decine di anni per concretizzarsi in metodologie applicabili ed efficaci e ciò è avvenuto praticamente sempre grazie ad un uso critico e creativo di nuove tecnologie. Il rilievo laser scanning è stato utilizzato in forma innovativa

superando il concetto di mera riproduzione e misurazione del monumento mediante l'intuizione che la sovrabbondanza di dati forniti è un dato statistico dal quale ricavare, a volte con malizia, le anomalie che in architettura sono indicatrici di un mutamento nella struttura.

La costruzione di mappe di deformazione nasce dalla lettura di grafici di distribuzione “a forma di architettura”. I prospetti così interpretati permettono una lettura stratigrafica e l'individuazione, il riconoscimento e la contestualizzazione dei danni e dei meccanismi di danno come degrado potenziale nell'ottica di comprensione del comportamento strutturale del monumento (Doglioni, 2007; Milano, 2008).

LA CHIESA

La pieve di Cantalovo (VI sec. D.C), costruita in laterizio in parte di epoca romana, presenta ancora oggi i segni della sua passata conformazione; è infatti visibile la ricucitura muraria sul lato nord dove era presente il campanile, probabilmente inserito nella struttura originaria durante i lavori di ricostruzione che seguirono il sisma del XII secolo che interessò l'area del veronese. Sempre sul lato nord è presente la pietra basale di un'antica apertura che fa collocare su questa parte della chiesa l'annessa casa parrocchiale la cui esistenza è testimoniata da documenti storici (Castagnetti, 1976; D'Arcais, 1981).

Inizialmente si sono effettuate delle misurazioni sul modello per comprendere la geometria del monumento ed individuare possibili rapporti costruttivi caratteristici delle architetture dell'Alto Medioevo.

La pieve (fig. 1) è liturgicamente orientata (abside a est) e presenta un rapporto 1:2 tra facciata (quadrata) e prospetto laterale; inoltre, confrontando le grandezze misurate con l'unità in piedi romani (0.269 m) utilizzata all'epoca della sua costruzione si è scoperto che l'intera fabbrica si basa sul numero sacro 7 (lo Spirito Santo) ed i suoi multipli. Queste semplici considerazioni possono essere di grande utilità per una datazione del monumento; se infatti si tiene conto dell'uso di volumi primitivi, del riutilizzo di materiale di epoca romana e dell'attenzione alla corrispondenza delle proporzioni con la numerologia sacra otteniamo le principali caratteristiche dell'architettura cristiana del primo Medioevo. Sono infatti S. Ambrogio e S. Agostino nel IV secolo ad indicare una numerologia sacra cui anche l'architettura doveva far riferimento. I rapporti dimensionali basati sui numeri 1,2,3 ritrovati in numerosi monumenti del V-VI secolo permettono di parlare di una "geometria teologica" quasi un *memento* architettonico.

LO STUDIO

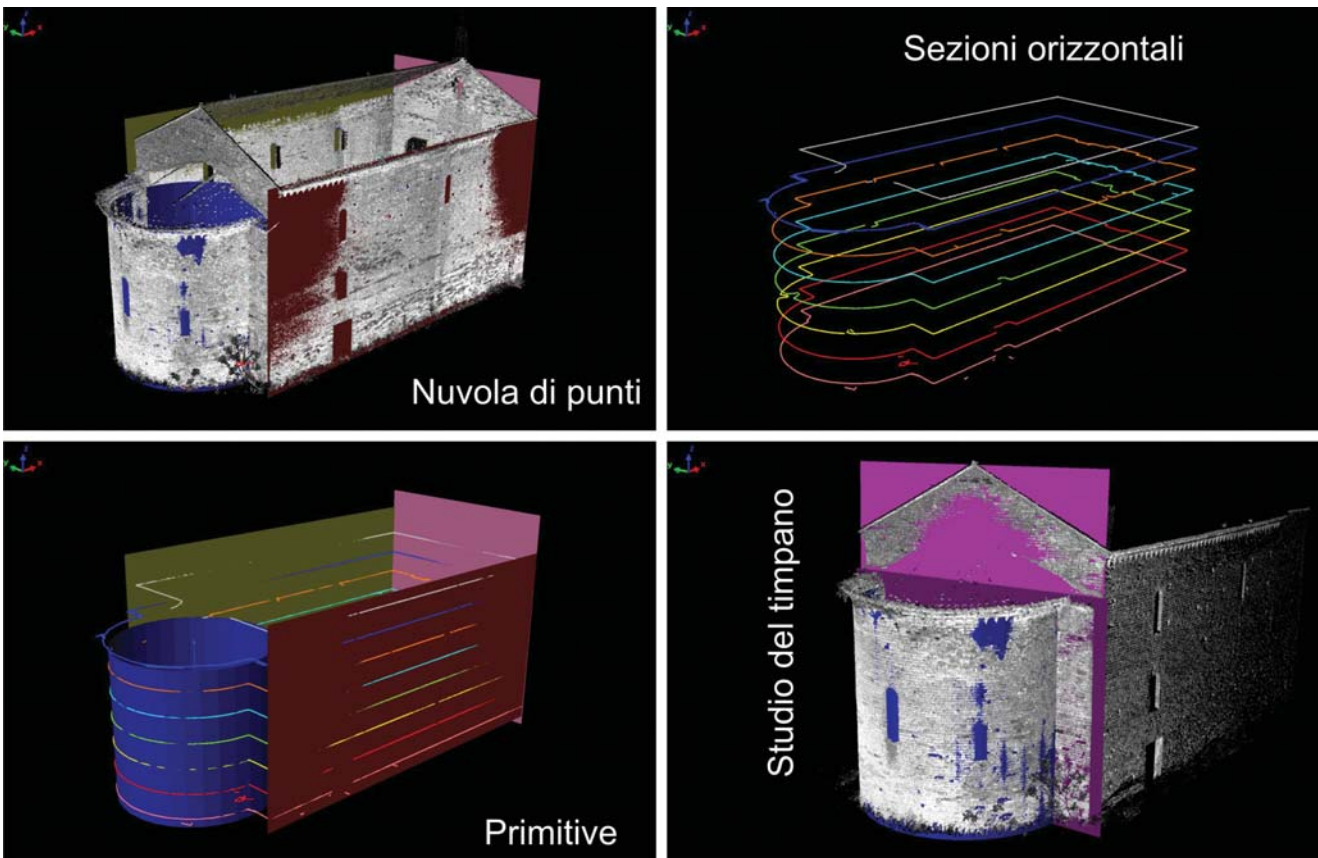
La fase centrale di studio si è sviluppata attraverso il confronto delle nuvole di punti ottenute con il laser scanner ILRIS 3D (Pesci et al., 2011a) di macro elementi individuati con primitive (piani e cilindro nel caso dell'abside) convenientemente scelte ed il calcolo della deviazione standard delle distanze punto-piano (Pesci et al., 2011bc). Una elevata deviazione individua un'anomalia nella struttura che va interpretata come deformazione (deviazione dalla regolarità) o come mutamento della struttura dovuto all'intervento dell'uomo. A questo scopo è utile incrociare il dato TLS con le informazioni storiche, l'osservazione diretta e mediante materiale fotografico nonché tecniche classiche come la datazione relativa e la mensio-cronologia. Da tale lettura "comparata" delle nuvole di punti e la realizzazione di cross-section si è arrivati a individuare dei tipici meccanismi di collasso delle murature. La precisione della misura permette di visualizzare tali meccanismi in fase preventiva, ovvero quando questi si presentano più come tendenza di comportamento della muratura che come comportamento in atto e quindi di considerarli come fattore di degrado su cui si può intervenire in maniera economica e poco invasiva.

I RISULTATI

Il macro-elemento timpano, confrontato con il suo piano interpolatore mette in evidenza una zona centrale di deformazione che è riconducibile ad un classico meccanismo di "battitura" della copertura dell'abside (vedi Fig. 2 e 3).

Il prospetto settentrionale presenta un'area di apparecchiatura muraria dai contorni netti (zona verde) dove, con ogni probabilità, si trovava il campanile ed una zona centrale di fuori piano riconducibile anche questa ad un classico meccanismo di danno dovuto alla spinta della copertura non ancorata alla muratura. Anche le cross-section realizzate a diverse altezze su tale prospetto mostrano una lenta deformazione dovuta al carico prolungato rappresentato dal

Figura 2 - Studio mediante primitive per rappresentare i prospetti e creazione delle sezioni orizzontali.



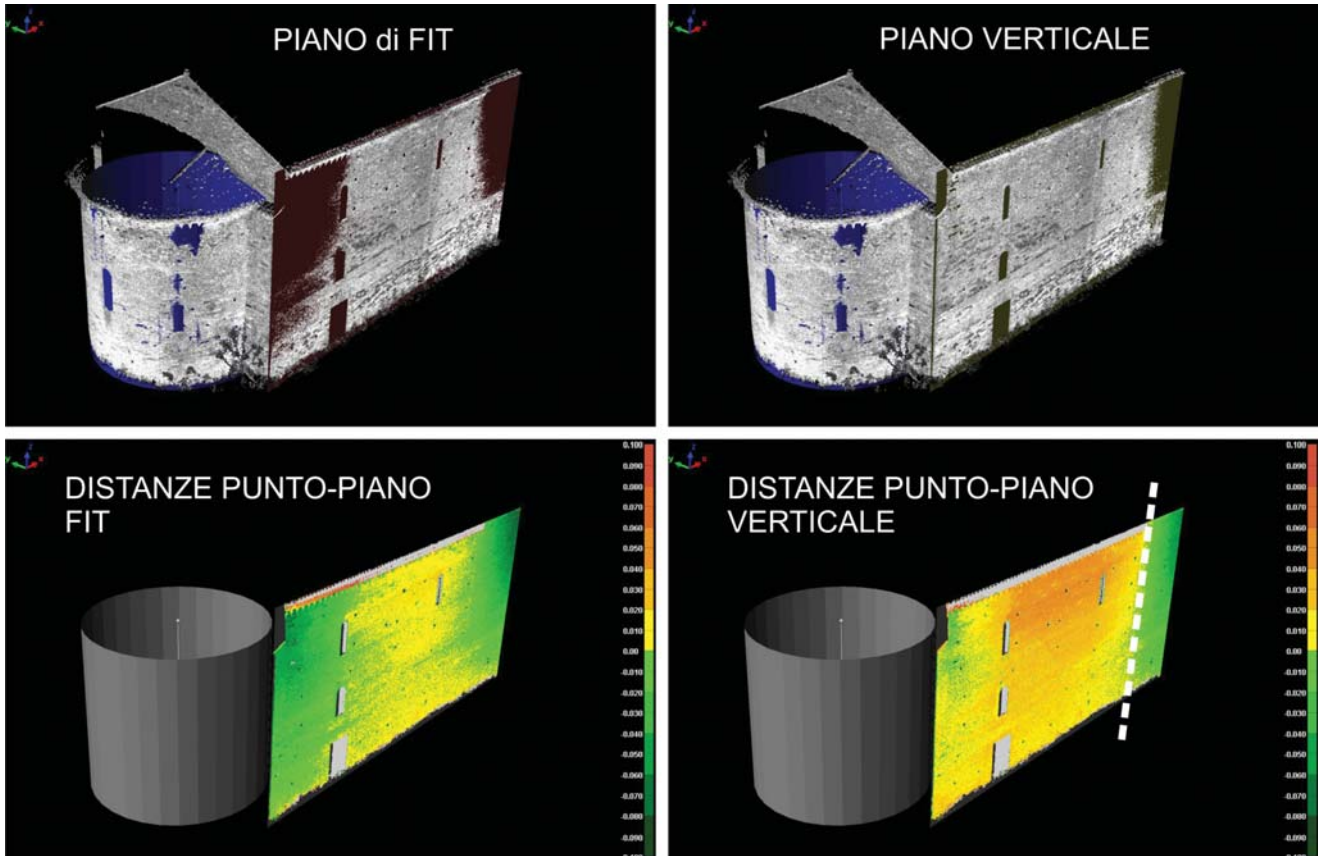


Figura 3 - Scelta della primitiva di riferimento per lo studio della deformazione del prospetto nord. Il piano di FIT viene sostituito col piano verticale per una migliore comprensione della mappa delle deviazioni.

campanile, mentre, laddove si era ipotizzata la presenza della casa parrocchiale, un brusco mutamento che suggerisce un intervento antropico.

La mappa del prospetto sud mostra chiaramente la tessitura muraria dei diversi interventi avvenuti nel corso dei secoli. Procedendo con la creazione di piani di sezione anche nel prospetto sud è possibile osservare, nella fascia di altezza compresa tra 1 metro e 3 metri un andamento regolare dell'apparecchio murario ed una lieve sporgenza rilevata dalla seconda sezione dovuta, con ogni probabilità, ad un fattore antropico di intervento sulla costruzione. Non casuale è la corrispondenza tra la porzione di muratura pressoché a piombo (in verde) dell'angolo destro superiore del prospetto ovest e dell'angolo contiguo nel prospetto sud.

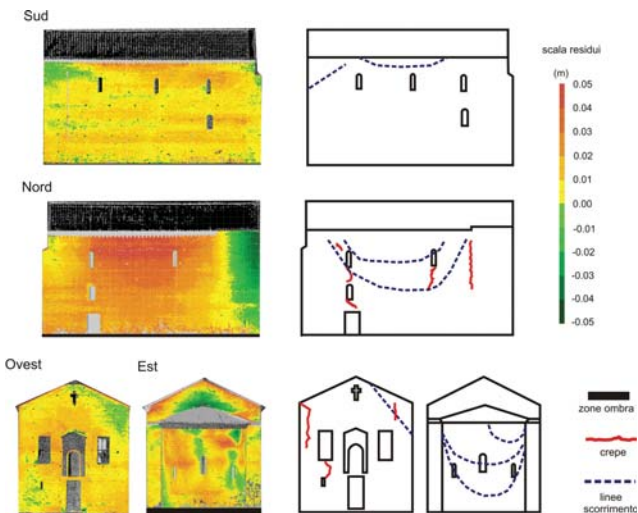


Figura 4 - Mappe delle differenze (o deformazioni) e relativo schema dei meccanismi di crollo.

Tenendo conto che gli edifici venivano spesso costruiti in entro-piombo, tale conformazione è indice di un meccanismo "in nuce" di spostamento fuori piano della parete laterale vincolata efficacemente su due lati.

La mappa del prospetto est mostra la presenza di zone di differenza positiva schematizzabili come una vulnerabilità che può portare all'attivazione di un meccanismo di rototraslazione della parte superiore dell'abside con distacco lungo un piano inclinato. La copertura esercita una spinta non compensata sui bordi dell'abside, favorendo l'attivazione del meccanismo.

Per visualizzare meglio l'assetto attuale risultante è stata adottata una strategia basata su un cilindro interpolatore mobile di 1 m di altezza permettendo uno studio ancor più aderente alla vera conformazione dell'abside (Fig. 5).

Al fine individuare i segni dei terremoti storici o di interventi passati sull'apparecchiatura muraria della pieve l'apporto di informazione da materiale fotografico ad alta risoluzione è infatti indispensabile per valutazioni di datazione e cronologia relativa.

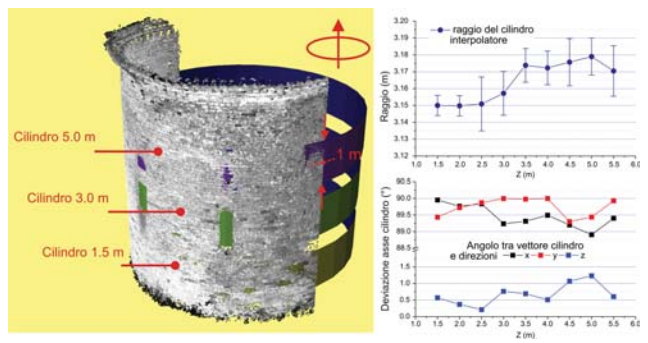


Figura 5 - Sviluppo di uno studio con cilindro mobile per evidenziare le caratteristiche dell'abside.

L'analisi delle dimensioni dei laterizi appartenenti alle zone individuate dell'apparecchiatura muraria e la loro elaborazione statistica hanno permesso di elaborare una stratigrafia degli interventi nel corso della storia del monumento. L'elaborazione statistica dei dati raccolti permette di assegnare misure medie rappresentative ad ogni unità, eliminando le variazioni dovute ai fattori casuali, e di ricostruire quindi l'andamento delle variazioni intenzionali avvenute nel tempo che diventa il vero e proprio strumento di datazione. Il dato della deviazione standard permette di individuare zone di riutilizzo dei materiali dall'incertezza della misura. Tale dato è rilevante soprattutto per quanto riguarda la lunghezza del mattone disposto a fascia poiché il materiale di riutilizzo veniva diviso a seconda dello spessore, che veniva mantenuto, e poi sbizzato in opera (Fig. 6 e 7).

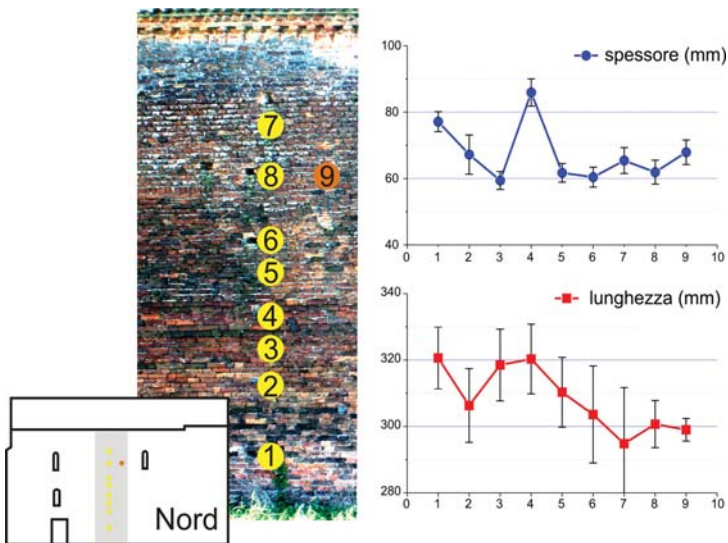
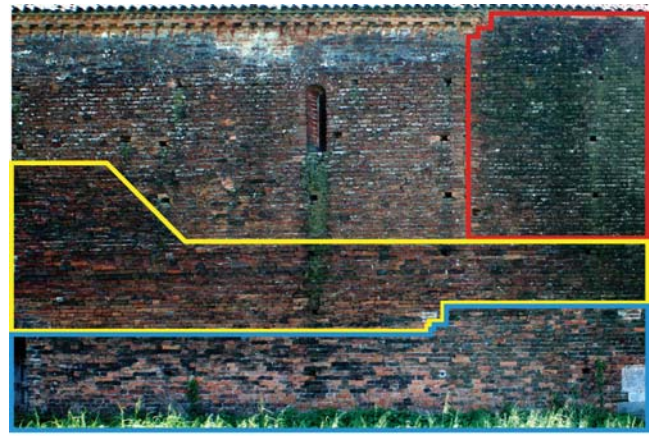


Figura 6 - Mensio-cronologia dei mattoni da campioni osservati e misurati mediante le immagini foto raddrizzate.

RIFERIMENTI

- Bonora, F., 1979. Proposta metodologica per uno studio storico dei mattoni, in: Il mattone di Venezia, Atti del Convegno presso Fondazione Cini, 1979, pp. 229- 239
- Castagnetti, A., 1976. La pieve rurale nell'Italia padana. Territorio, organizzazione patrimoniale e vicende della pieve veronese di San Pietro di «Tillida» dall'alto medioevo al secolo XIII, Roma, 1976, 36
- D'Arcais, F.F., 1981a. Aspetti dell'architettura chiesastica a Verona tra l'alto e il basso medioevo, in Chiese e Monasteri nel territorio Veronese, Ed. G. Borelli (1981), Verona.
- Doglion, F., Mazzotti, P., 2007. Codice di pratica per gli interventi di miglioramento sismico nel restauro del patrimonio architettonico. Integrazioni alla luce delle esperienze della Regione Marche, Ed. Regione Marche (2007), ISBN: 8890266902
- Milano, L., Mannella, A., Morisi, C., Martinelli, A., 2008. Schede illustrative dei principali meccanismi di collasso locali negli edifici esistenti in muratura e dei relativi modelli cinematici di analisi, in: Allegato alle Linee Guida per la Riparazione e il Rafforzamento di elementi strutturali, Tamponature e Partizioni (2008) (accessed: 21 February 2012).
- Pesci, A., Teza, G., Bonali, E., 2011a. Terrestrial laser scanner resolution: numerical simulations and experiments on spatial sampling optimization. Remote Sens. 3, 167-184; doi:10.3390/rs3010167
- Pesci A., Casula G., Boschi E., 2011b. Laser scanning the Garisenda and Asinelli towers in Bologna (Italy): detailed deformation patterns of two ancient leaning buildings, Journal of Cultural Heritage 12 (2) 117-127.
- Pesci A., Bonali E., Galli C., Boschi E., 2011c. Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy). Journal of Cultural Heritage. doi:10.1016/j.culher.2011.09.004



1744: eliminazione campanile Intervento ricostruzione post 1117 e riutilizzo mattoni romani
Laterizi bacino Lombardo-Veneto IX secolo e riutilizzo laterizio romano

Figura 7 - Stratigrafia relativa del lato nord.

CONCLUSIONI

Il rilievo laser scanning della pieve studiata è stato trattato come dato statistico concretizzato nelle mappe di deformazione che, integrate con le indagini tematiche del restauro, hanno messo in luce i meccanismi di danno in atto nella struttura. L'interpretazione delle mappe ha permesso di individuare l'azione della copertura sull'apparecchiatura muraria sia nei prospetti nord e sud che nel timpano soprastante l'abside soggetta a rototraslazione nella sua parte superiore. Il dato TLS viene restituito mediante mappe di deformazione come uno strumento sinottico efficace. Esse infatti presentano la sinteticità di una tavola tematica e la semplicità ed intuitività nella sua interpretazione, ma allo stesso tempo sono uno strumento che racchiude i layers di informazione utili alle diverse figure professionali.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano sentitamente Don Gigi e lo Studio Giacomelli per il prezioso materiale fornito, per la disponibilità e per l'accoglienza presso la parrocchia di Bevilacqua.

ABSTRACT

The restoration is based on the comprehension of the monument architectural history and of its structural behavior. The first topic regards historical sources and architectural marks understanding while the second one focuses on changes in time of structural balance. The deviations maps, obtained from laser scanning data processing and representative macro-elements primitives, can summarize both. In particular it is possible to elaborate an efficient method to detect and study the damage mechanism, also providing information and dating past restorations, based on contactless and independent TLS and data imaging measurements.

The method is applied to obtain the deformation state of Cantalovo's church (Verona, IT), struck by earthquake on XII, pointing out both historical and present day damage mechanisms.

PAROLE CHIAVE

Laser scanning, deformazione, pieve, terremoto.

AUTORI

ELENA BONALI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA, DAPT.

ARIANNA PESCI
PESCI@BO.INGV.IT
GIUSEPPE CASULA
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA, SEZIONE DI BOLOGNA

ENZO BOSCHI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BOLOGNA, DIPARTIMENTO DI FISICA.