

San Michele Arcangelo a Metelliano, Pieve in val D'Asse: metodologie per il rilievo, la documentazione, la conservazione e la valorizzazione

Giovanni Pancani

*DIDA - Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze*

pagina a fronte

Fig. 6
La nuvola di punti, sopra nella zona absidale, sotto vista dalla facciata

Abstract

The Pieve of San Michele Arcangelo in Metelliano is part of the territory of Arezzo, in particular is located near Cortona, in the Val d'Esse, at the edge of the Chiana Valley. The eleventh century church, built in a phase immediately preceding to the full maturity of the Romanesque, was rebuilt by the architect Maginardo from Arezzo.

The paper considers the problem of the methods and investigation protocols relating to the historical archaeological monuments. For the realization of this study, the work was organized according to the main topics: the survey, its certified reliability, the graphic documentation with the identification of materials and structural problems.

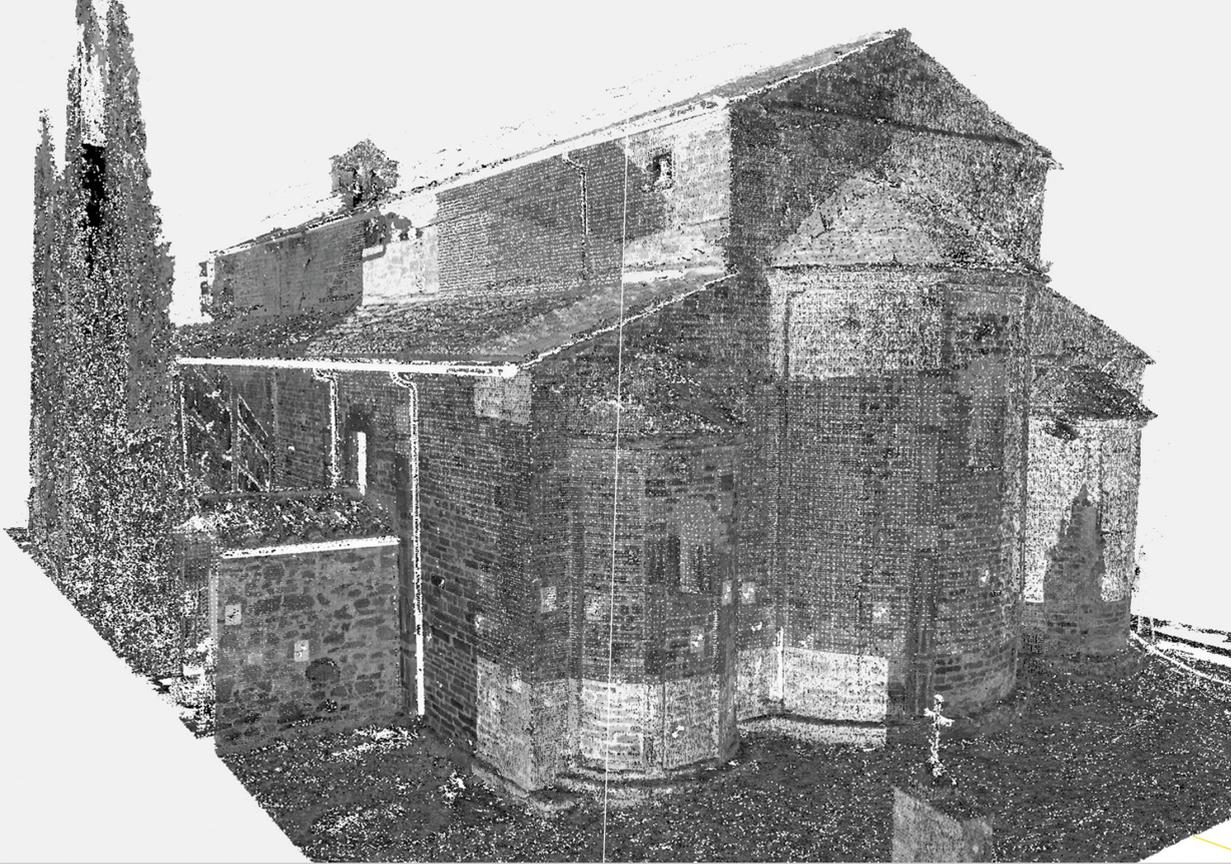
For the representation of the drawings, in this first session of studies thematic maps have been created that contain information regarding the identification of materials and the state of degradation; In addition the building's structural survey was made, flanked by evaluation of plastic deformation of the facades.

Obiettivi del contributo

Il contributo prende in esame il problema delle metodologie e dei protocolli di indagine relative ai monumenti storico archeologici, in tal senso sono stati affrontati i temi per la documentazione, la valorizzazione, la conservazione e la sicurezza, anche riferita ai recenti eventi sismici che hanno colpito l'Italia centrale.

Per la realizzazione di questo studio il lavoro è stato organizzato con l'intento di individuare i problemi della conservazione del bene, secondo alcune tematiche principali: il rilievo, la sua affidabilità certificata, la documentazione grafica con l'individuazione dei materiali e delle criticità strutturali, con l'obiettivo di raggiungere tutte le potenzialità che le moderne tecnologie di indagine morfologica sono in grado di mettere a disposizione al restauratore.

Per il rilievo ci si è avvalsi del laser scanner 3D, tecnologia ormai consolidata nella pratica del rilievo, ma della quale, almeno in Italia, non esistono ancora precisi protocolli di lavoro codificati ed universalmente ricono-



sciuti, ne tantomeno protocolli per la certificazione del livello di affidabilità del rilievo. A questa tecnologia è stato affiancato il rilievo fotogrammetrico 2D, con il quale è stata affrontata la realizzazione degli ortofotopiani dei fronti interni ed esterni.

Per quanto riguarda la rappresentazione degli elaborati, in questa sessione di studi ci si è indirizzati alla realizzazione di carte tematiche con contenuti riguardanti l'individuazione dei materiali, e lo stato di degrado del fabbricato, è stato inoltre effettuato il rilievo strutturale dell'edificio, affiancato dalla valutazione delle deformazioni plastiche dei fronti.

Fig. 1
La pieve di San Michele Arcangelo a Metelliano, vista della facciata in immagini odierne (a destra a colori), e intorno al 1960 (a sinistra in bianco-nero)

Inquadramento geografico

La Pieve di San Michele Arcangelo a Metelliano si colloca all'interno dell'ampio territorio aretino, che comprende la valle del Cefone, l'alta valle del Tevere, la valle del Casentino, il Valdarno superiore, la Valdichiana e l'area senese. In particolare il sito in oggetto è situato nei pressi di Cortona, a Metelliano, nella Val d'Esse, ai margini della Valdichiana e non troppo distante dal Valdarno.

La Valdichiana che assieme al Valdarno, erano importantissime valli per la comunicazione tra il centro ed il nord d'Italia, erano anticamente percorse da due importanti vie consolari: verso est la via Cassia Vetus Clodia, che utilizzava il tracciato di antiche vie etrusche, che da Roma per Chiusi ed Arezzo portava a Fiesole, attraversando il Valdarno in quota a circa 300 metri s.l.m. Verso ovest invece la via Cassia Adrianea che fu realizzata successivamente, nel 123 d.C., che da Chiusi si dirigeva a Firenze senza passa-



re per Arezzo¹. Da sottolineare che San Michele Arcangelo a Metelliano, come del resto tutte le pievi paleocristiane, mostra particolare relazione con una via romana, in questo caso la Cassia Vetus Clodia, che passava nelle vicinanze ed è prossima ad un corso d'acqua, il torrente Esse.

Inquadramento Storico

Situata a pochi chilometri da Cortona ed ai piedi della collina, nella valle dell'Esse la Pieve di San Michele Arcangelo a Metelliano, è un edificio del XI secolo, collocabile in una fase immediatamente precedente alla piena maturità del romanico, nel fabbricato sono riscontrabili elementi e soluzioni bizantine, che caratterizzano l'architettura preromanica aretina. La zona apparteneva ad una antichissima famiglia romana, la Gens Metellia, da cui questo logo ha preso il nome. Dell'antica struttura originaria, probabilmente di epoca romana, se ne trova testimonianza nella lapide del bambino romano conservata adesso nel Museo dell'Accademia Etrusca della città di Cortona. Si presume che la chiesa fu edificata in luogo di un tempio dedicato a Bacco e presente nella vulgata popolare con il toponimo di *Succhio*.

La chiesa deve l'edificazione e la sua denominazione attuale ad opera dei Longobardi, popolo che nutriva una particolare venerazione verso l'Arcangelo Gabriele. La prima edificazione è databile attorno al VIII secolo d.C. come sembrano confermare alcuni frammenti scultorei altomedievali che si riscontrano nell'edificio.

Il primo documento di cui si ha notizia della chiesa è emanato nel 1014



¹ In Morelli Emanuela, *Strade e paesaggi della Toscana, il passaggio della strada, la strada come passaggio*, Alinea Editrice, Firenze, 2007, p. 59.

Fig. 2
Vista dall'alto
del complesso
di San Michele
Arcangelo a
Metelliano



dall'Imperatore Enrico II, dal quale sappiamo che, assieme ad altri beni, era entrata in possesso dell'Abbazia di Farneta².

Si ha notizia che, all'architetto aretino Maginardo, fu assegnata la ricostruzione della Pieve intorno all'anno mille, egli realizzò un edificio stile Bizantino, di cui si ritiene abbia mantenuto del precedente impianto, la torre e le due absidi laterali, a cui ne aggiunse una terza centrale. La torre campanaria posta al centro della facciata, secondo gli studi di Bruno Frescucci, fu demolita nel 1439 d.C. e venne sostituita con il campanile a vela tuttora presente.

Da un altro documento del 1513, conservato in copia presso l'Archivio capitolare di Cortona, si evince come alla suddetta data San Michele in Asse, citata come S. Angiolo al Succhio, non fosse più nelle disponibilità dell'abate di Farneta e fosse adibita a semplice chiesa parrocchiale.

Nei secoli successivi all'intervento di Maginardo la chiesa di San Michele Arcangiolo subì interventi e rifacimenti che ne cambiarono fortemente l'aspetto. Nel 1905/1906 con l'avvio della pratica di riconoscimento a monumento nazionale, furono eseguiti dei lavori per demolire le superfetazioni che avevano fortemente compromesso l'aspetto della chiesa. Tuttavia nel 1930 un fulmine la colpì spaccando il campanile e provocando molti danni all'interno ed è proprio in questo periodo che venne costruito il corridoio di comunicazione tra la chiesa e la casa canonica. Nel 1960 le belle arti di Arezzo commissionarono degli scavi all'interno, dove trovarono un ampio vano sorretto da archi adibito a cimitero, antica usanza dell'epoca medievale. Sempre nello stesso periodo iniziarono i nuovi lavori di restauro che ci hanno consegnato la chiesa nell'aspetto odierno.

Stato dell'arte

Il rilievo laser scanner come già anticipato, rappresenta una metodologia operativa che è ormai entrata nella consuetudine scientifica e professio-

²In "Tüskés Anna, Il ciborio della Chiesa S. Michele Arcangelo di Metelliano a Cortona: una proposta di ricostruzione, in: *Annuario dell'Accademia Etrusca di Cortona* XXXI/2004-2005, pp. 75-83."



Fig. 3
Le fasi di
scansione
all'esterno del
complesso di
Metelliano

nale, sia nel caso si debba operare in edifici di grandi dimensioni e morfologicamente complessi, sia per quanto riguarda il caso di edifici più piccoli e morfologicamente semplici. A questo uso diffuso, purtroppo in Italia, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzazione professionale, non fanno seguito precisi protocolli operativi sia per l'esecuzione del rilievo stesso, sia per digitalizzazione in sistemi CAD dei dati provenienti dalle nuvole di punti, ed infine per l'integrazione con altre forme di rilievo come ad esempio il rilievo fotogrammetrico. Infine per utilizzare i dati in articolate operazioni di analisi strutturale è necessario prevedere delle procedure di certificazione del dato, poiché la certificazione dell'accuratezza del dato è fondamentale per l'utilizzazione dei dati stessi. A questo fine il gruppo di ricerca a cui appartiene lo scrivente e a cui fanno anche riferimento studiosi che si occupano sia di archeologia sia degli aspetti del consolidamento strutturale e del restauro, già da alcuni anni si sta indirizzando nella messa a punto dei suddetti protocolli, con particolare attenzione anche allo sviluppo di criteri per l'utilizzazione dei dati nel campo del restauro e della verifica dell'idoneità sismica degli edifici.

Metodologia seguita

Le tecnologie di rilevamento digitale, in particolare il laser scanner 3D, permettono di cogliere un enorme numero di misure in un tempo molto breve, producendo una sorta di modello intermedio tra il reale ed il rappresentato, costituito dalla nuvola di punti nella quale l'architettura è appunto misurata per punti; la loro elevata densità dà l'impressione della continuità tanto da farlo sembrare un modello fatto di superfici. La densità della maglia di acquisizione³ è appunto la cifra del rilievo digitale laser scanner, ed è appunto la densità, che a seconda delle tipologie di manufatto da rilevare e le modalità di restituzione da mettere in atto, contraddistingue sia le metodologie sia le strumentazioni da utilizzare.

³La densità della maglia di acquisizione di un rilievo è data dall'interasse con cui ad una distanza nota lo strumento misura i punti. Tale interasse può essere eguale sia per i punti verticali che per quelli orizzontali, generando pertanto un quadrato minimo di misura; quando invece i punti verticali sono intervallati diversamente da quelli orizzontali avremo un rettangolo minimo. La maglia di acquisizione si esplicita con questa formula 1×1 cm. (ovvero quando l'interasse è di 1 centimetro in orizzontale e un centimetro in verticale). La maglia di acquisizione che chiameremo anche densità del rilievo è legata alla risoluzione e all'accuratezza strumentale. L'accuratezza di un rilievo laser scanner è direttamente funzione della maglia di acquisizione e della precisione strumentale, poiché appare chiaro che sarebbe improbabile e comunque scorretto, disegnare particolari di dimensioni uguali o inferiori alla somma fra la maglia di acquisizione e l'accuratezza strumentale. Questo rappresenta pertanto un nodo di primaria importanza, poiché già dall'inizio delle operazioni di rilevamento e di presa delle misure" in Pancani Giovanni, *Piazza dei Miracoli a Pisa: il Battistero Metodologie di rappresentazione e documentazione digitale 3D*, Edifir, Firenze, gennaio 2016.

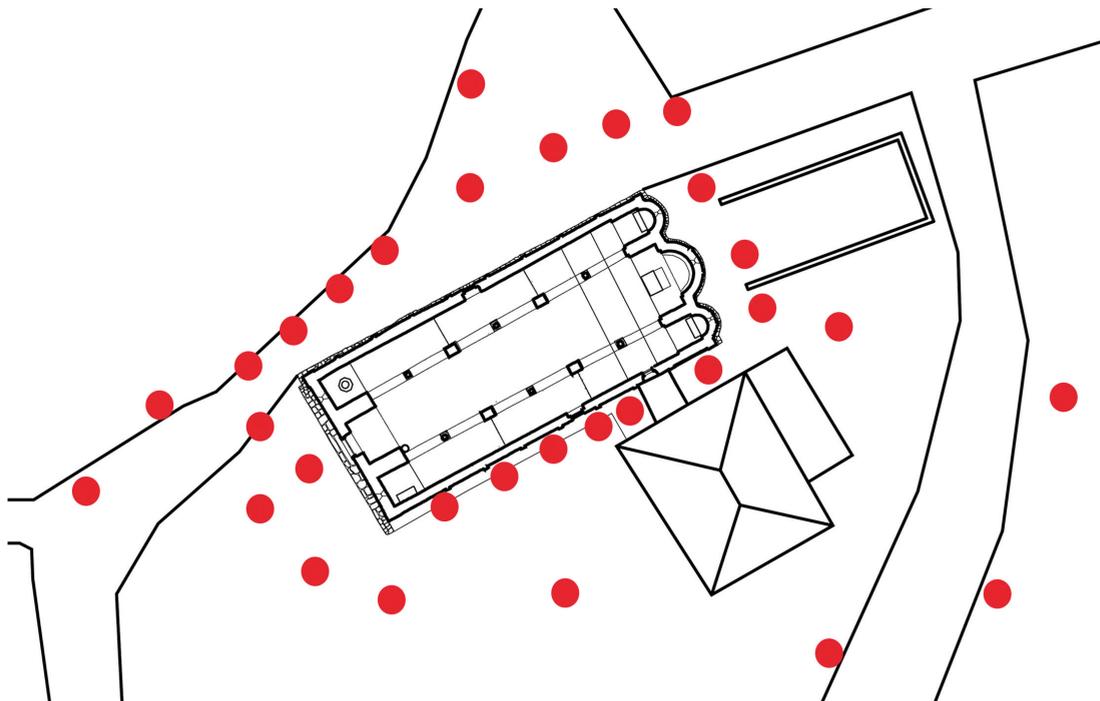
Fig. 2
Il percorso delle
scansioni effet-
tuate, sinistra
all'esterno, de-
stra all'interno

È altresì opportuno specificare, che nel campo del rilievo architettonico dobbiamo individuare la scala di restituzione prima di iniziare le operazioni di rilievo. La scala di restituzione è legata a due presupposti fondamentali: la tipologia di edificio e il grado di risoluzione a cui il rilievo deve approdare. Tuttavia, nel mondo del disegno CAD potrebbe sembrare anacronistico parlare di scala, poiché in un ambiente virtuale, la scala in cui ci si muove è la scala 1:1. Ciò che però dobbiamo considerare è che allo stato attuale dell'arte, gli elaborati grafici sono concepiti per una restituzione bidimensionale e su supporto cartaceo, poiché la normativa prevede che sia questa tipologia di rappresentazione. Quindi è necessario prevedere una scala di restituzione che sia in grado di rispettare le normative in ordine ai monumenti, ma che al contempo sia in grado di dare adeguata descrizione al monumento stesso. Pertanto la scelta della corretta scala di restituzione rimane un punto nodale in un qualsiasi progetto di rilievo.

Le considerazioni suddette ci invitano dunque a vagliare attentamente quelli che sono i presupposti per individuare la corretta densità di acquisizione del rilievo. A questo punto vanno infatti considerati con attenzione alcuni parametri: in primo luogo la tipologia di edificio, la complessità del suo apparato decorativo se ne è dotato, il tipo di intervento che vi si andrà a fare; questo è infatti strettamente legato alla scala di restituzione del rilievo e di tutti gli elaborati che un'eventuale progetto di consolidamento e restauro debbano prevedere⁴.

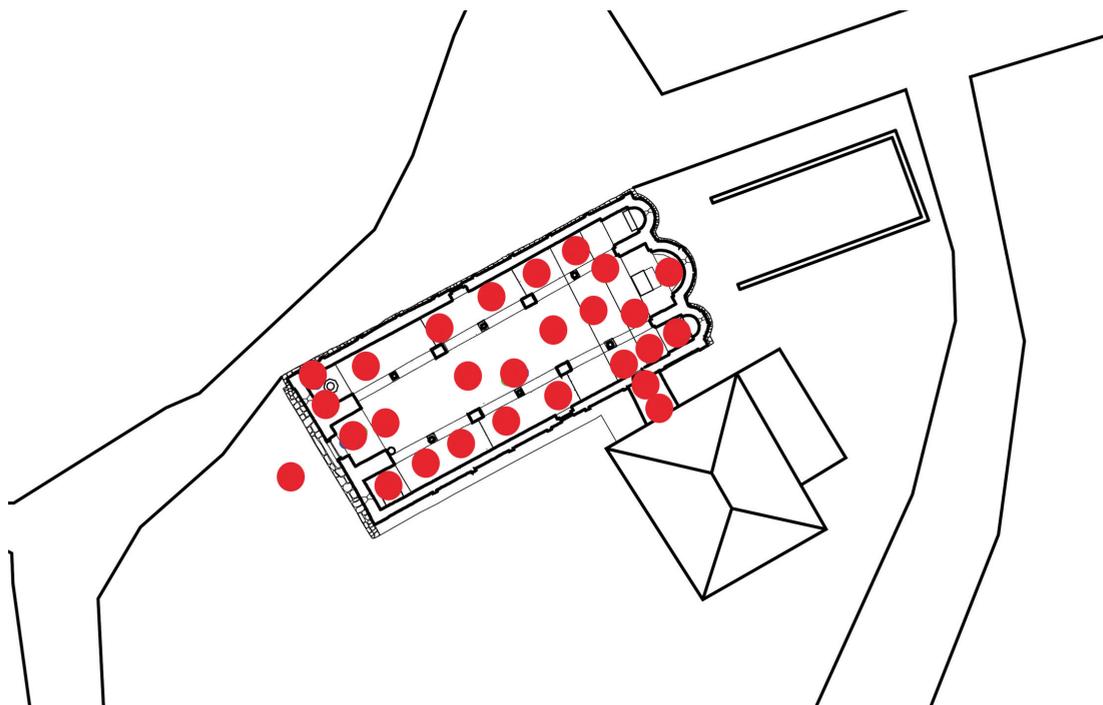
Per quanto riguarda la Pieve di San Michele Arcangelo, ci si è trovati di fron-

⁴Cfr. in "Pancani Giovanni, *Piazza dei Miracoli a Pisa: il Battistero Metodologie di rappresentazione e documentazione digitale 3D*, Edifir, Firenze, gennaio 2016.



te allo studio di un edificio morfologicamente piuttosto semplice senza particolari apparati *decorativi*, eccezion fatta che per certi elementi: come ad esempio le colonne bizantine delle navate, i capitelli ed altri frammenti scultorei presenti nelle apparecchiature murarie. Su quest'ultime erano altresì presenti i segni stratigrafici delle variazioni subite dalla fabbrica della chiesa. Alcuni fronti inoltre presentavano delle deformazioni plastiche significative, tali dissesti erano comunque ben visibili, ma andavano valutati nella loro componente geometrico-dimensionale. Infine andava valutato con estrema attenzione il grado di inclinazione dei piedritti. Ne è conseguito, che in funzione di queste specifiche esigenze, la maglia di acquisizione dovesse essere particolarmente fitta, tale da riuscire a catturare le peculiarità descritte, che pertanto dovesse essere mediamente intorno a 0,7 x 0,7 centimetri, con punte di densità massima di 0,5 x 0,5 centimetri. Le dimensioni piuttosto contenute della Pieve, hanno permesso di impostare un progetto di rilievo che potesse fare a meno del rilievo topografico; infatti nonostante la moderna tecnologia consenta di effettuare e mettere a registro⁵ i rilievi laser scanner anche senza l'ausilio del rilievo topografico, quando si è di fronte a edifici di grandi dimensioni e dalla complessa articolazione planimetrica rimane sempre opportuno prevedere l'utilizzazione di questo presidio di controllo. Questo a maggior ragione laddove si debba anche mettere in atto un protocollo di certificazione della banca dati di rilievo. Tuttavia, nel nostro caso, come in casi analoghi è stato possibile eseguire un lavoro affidabile anche senza questo ulteriore strumen-

⁵Con il termine mettere a registro o registrazione si intende la rototraslazione di tutte le scansioni in un unico sistema di riferimento», Rinaudo Fulvio, *La tecnica laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche*, in *La tecnica del laser scanning: teoria e applicazioni*, a cura di Fabio Crosilla e Riccardo Galetto, Udine, 2003, pp. 134-136.



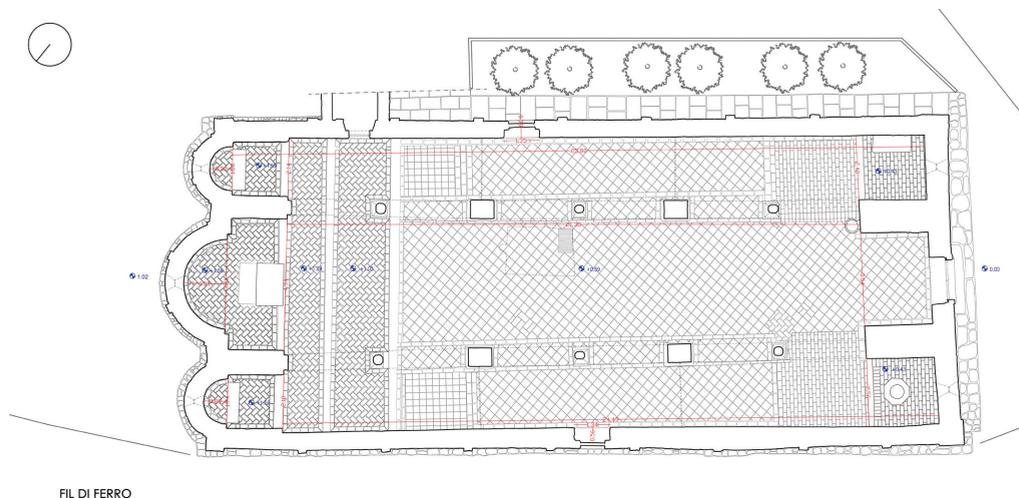


Fig. 7
La pianta della chiesa, sopra al filo di ferro, sotto con evidenziazione dei materiali

to di verifica, ponendo particolare attenzione al protocollo di acquisizione, al modo in cui si posizionavano i target ed al modo in cui si effettuavano le verifiche durante la registrazione della nuvola di punti. In particolare, è stato opportuno sistemare alcuni target che chiameremo di riferimento in modo che potessero rimanere visibili da gran parte delle scansioni, nella Pieve di San Michele in Esse, si è trattato di posizionare attentamente alcuni dei target all'interno della chiesa, in modo che una parte sostanziale di questi, quelli della zona absidale, potesse essere rilevata anche dall'esterno. Altrettanto è stato fatto nel posizionare i target di fronte al portale d'ingresso della chiesa, in modo che fossero visibili anche da molte delle stazioni interne. La realizzazione di una poligonale intorno all'edificio religioso è stata eseguita cercando di acquisire dalle singole scansioni, sia target posti agli estremi dei lati del fabbricato sia quelli messi in posizione intermedia. Durante la registrazione si è provveduto a ricostruire la poligonale esterna utilizzando poche scansioni, quelle poste ai vertici dei lati della chiesa e della canonica, andando poi ad integrarle con le altre scansioni di dettaglio. All'interno invece la struttura portante del rilievo è stata realizzata con le scansioni della navata centrale dalle quali si potevano acquisire la quasi totalità delle mire apposte. Le scansioni delle navate laterali sono invece servite per completare il rilievo. Durante la messa a registro venivano costantemente verificate le sezioni delle scansioni unite, controllando che gli eventuali disallineamenti fossero molto ridotti e sempre al disotto del centimetro. Per la realizzazione di questo rilievo è stato necessario eseguire 30 scansioni dell'esterno e 28 dell'interno per un totale di 58 scansioni. Lo scanner utilizzato è stato un laser scanner Z+F Image 5006, un strumento che appartiene alla prima generazione degli strumenti differenza di fase, questa tipologia strumentale dispone di una precisione soddisfacente ± 2 mm a 10 metri, mentre ha una portata fino a 60 metri, queste caratteristiche sono state sufficienti per raccogliere i dati della chiesa, in

particolare modo per la valutazione delle deformazioni plastiche. La buona riflettenza di cui disponeva il dato della nuvola di punti, ha consentito un'agevole digitalizzazione dei paramenti murari. Tuttavia il rumore digitale si è presentato leggermente fastidioso, con particolare riferimento alla scansioni esterne.

Il rilievo fotogrammetrico è stato eseguito con lo scopo di realizzare precise mappe tematiche sul degrado del fabbricato, a tal fine la risoluzione delle immagini doveva essere tale da consentire un'adeguata lettura dei paramenti murari. In questo caso la risoluzione delle immagini doveva essere ancora più elevata rispetto a quella che solitamente necessita per stampa in scala 1:50. Infatti per la digitalizzazione dei fattori di degrado, eseguita in seguito alla loro individuazione e classificazione attraverso l'analisi diretta effettuata in situ, si doveva disporre di immagini altamente descrittive, con elevate risoluzioni al fine di ridisegnare correttamente il degrado precedentemente individuato. Per ottenere le immagini necessarie a tali operazioni bisognava che già in fase di ripresa, le foto disponessero di elevate risoluzioni, almeno 8/10 pixel per centimetro rappresentato. Questa elevata risoluzione risultava fondamentale poiché in seguito alla perdita di definizione derivata dalle operazioni di foto raddrizzamento e calibrazione geometrica sulla nuvola di punti, le immagini dovevano comunque mantenere risoluzioni di 5/6 pixel per centimetro.

Le possibilità offerte dalla nuvola di punti sono diverse, come ad esempio quella di avere un rilievo sempre interrogabile, sul quale si possono realizzare piante e sezioni in punti diversi da quelli ipotizzati in un primo momento; come anche la possibilità di calibrarvi le ortofoto. Per la diagnostica degli edifici si è dunque rivelata di grandissimo interesse la lettura della displancarità dei punti di una facciata rispetto ad un piano determinato, che è detta comunemente *elevation map*. Grazie a questi elaborati è possibile visualizzare e misurare le deformazioni presenti sulle pareti di un edi-



Fig. 5
Le fasi di ripresa
fotografica

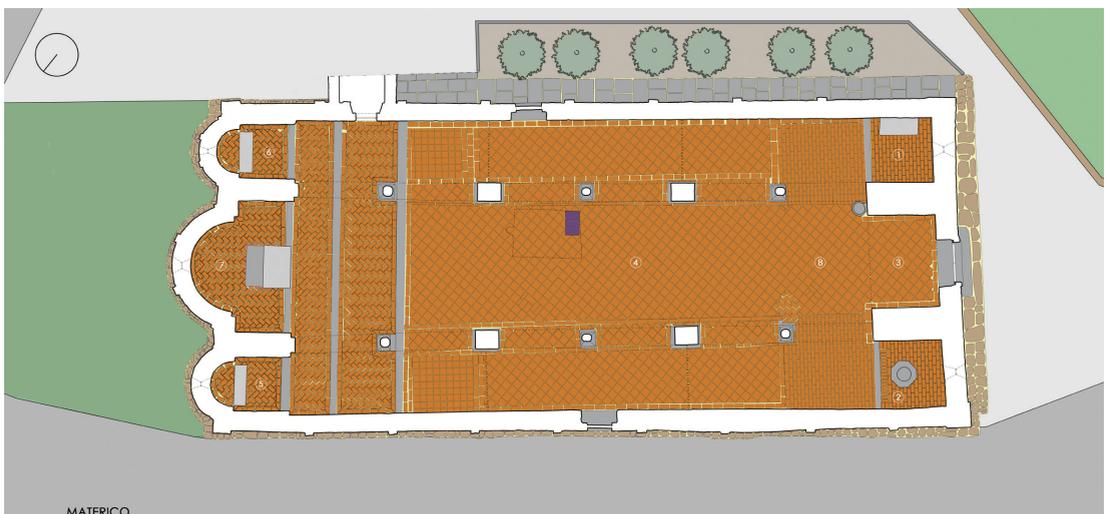
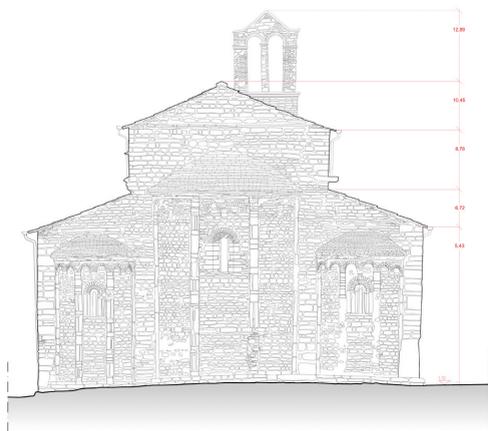




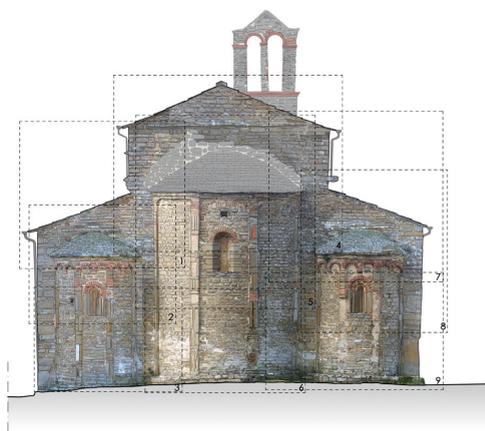
Fig. 8
Tavole tematiche sulla facciata principale

ficio sia quando queste siano difficili da individuare, sia quando siano evidenti, caso questo in cui le *elevation map* ci sono servite per quantificarle con sufficiente precisione. A questo proposito è importante stabilire che, a seconda del grado di accuratezza delle strumentazioni e della densità della maglia di acquisizione, sia necessario specificare, già in sede di programmazione del rilievo, quale debba essere il livello di precisione che si vuole raggiungere nelle valutazioni delle deformazioni plastiche dei fronti. Appare evidente come l'analisi possibile dalla valutazione delle *elevation map* sia uno strumento di indagine speditivo per stimare il grado di deformazione di un paramento murario⁶; il software di gestione delle nuvole di punti riesce a dare una colorazione variabile ai punti della nuvola in base alla distanza ortogonale rispetto ad un piano predeterminato; l'operatore, per rendere più esplicita la lettura può decidere ogni quanti centimetri far mutare un colore alla sfumatura successiva. In base alla pre-

⁶Cfr. Minutoli G. in Bertocci S.; Minutoli G.; Pancani G. (2015), Rilievo tridimensionale e analisi dei dissesti della Pieve di Romeina, "DisegnareCon", vol 8, n° XIV 2015, PDF 26.1-26.20. (ISSN 1828-5961).



Fil di ferro



Fotopiano



Materico



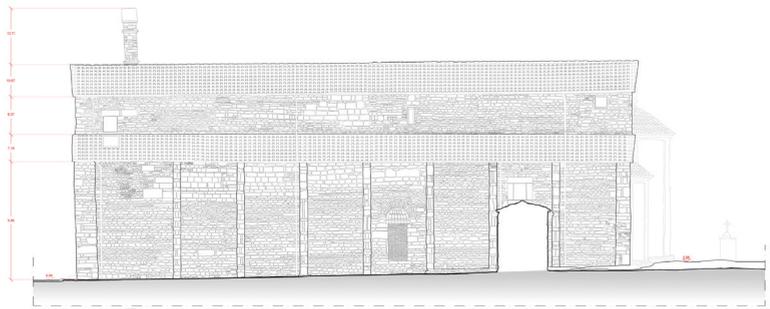
Degrado

cisione raggiunta nella registrazione della nuvola di punti si può quindi avere una più o meno accurata valutazione nelle misurazioni delle distanze e pertanto anche nelle variazioni di colore. Per ottenere una valutazione accurata e precisa, risulta quindi di fondamentale importanza anche la registrazione della nuvola di punti, poiché se due nuvole hanno scostamenti nei fili di sezione superiori a due centimetri non è produttivo andare a effettuare analisi con precisione centimetrica sulla facciata, poiché si ottengono solo informazioni falsate.

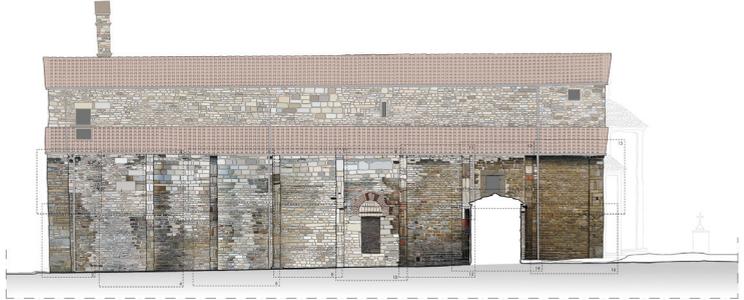
Risultati conseguiti

In fase di progettazione di rilievo è stata posta attenzione alla densità di punti da acquisire, al fatto che fosse adeguata rispetto al grado di dettaglio che si doveva ottenere per le indagini deformative, mentre la fase di registrazione del rilievo e la certificazione hanno permesso di controllare l'er-

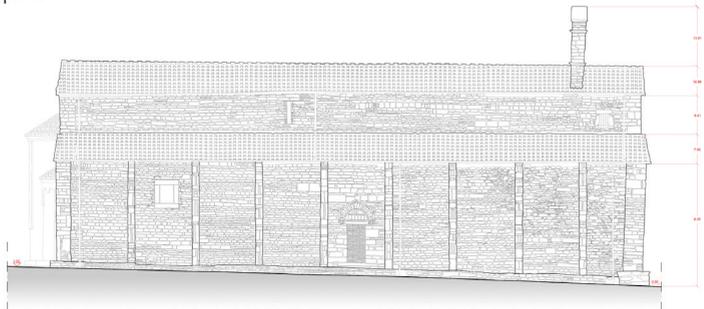
Fig. 9
Tavole tematiche
sulla zona
abside



Fil di ferro



Fotopiano



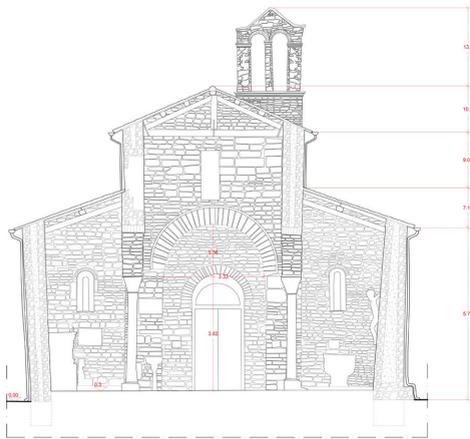
Fil di ferro



Fotopiano



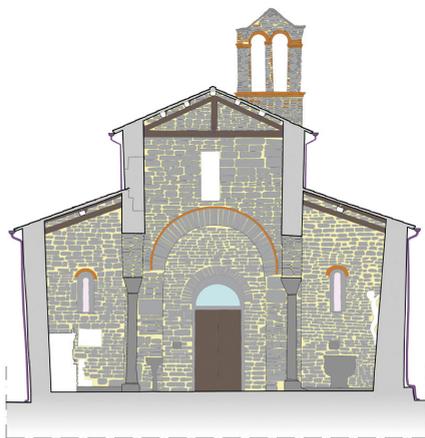
Foto mosaico



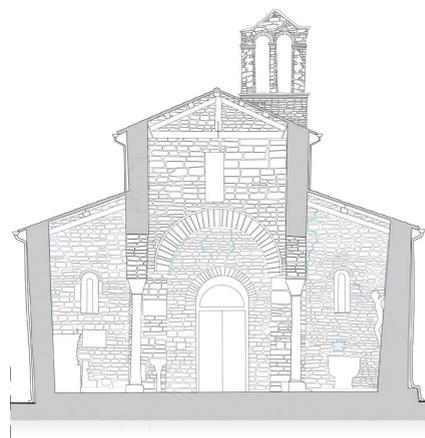
Fil di ferro



Fotopiano



Materico



Degrado

rore e quindi di avere un modello affidabile su cui basare il dato dei fuori piombo delle murature.

Dato il grado di precisione del rilievo 3D è stato possibile andare ad evidenziare sulle murature gli spostamenti dal piano verticale centimetrica. Le immagini estratte dalla nuvola di punti hanno permesso di quantificare lo spostamento dei paramenti murari, che a Metelliano erano già evidenti anche ad occhio nudo, ma che grazie a questa metodologia è stato possibile quantificare ed elaborare in modelli previsionali sui ribaltamenti dei fronti che sono risultati di grande interesse.

Il rilievo e la restituzione delle lesioni strutturali hanno integrato il dato ottenuto ed hanno permesso, mettendole in relazione con le deformazioni, di schematizzare le meccaniche dei dissesti principali. Il risultato ha evidenziato come la Pieve si stia “aprendo a libro”, come la spinta delle coperture non sia sufficientemente contenuta dai muri perimetrali e quindi come i paramenti siano soggetti ad un ribaltamento verso l'esterno.

Per permettere di redigere un progetto di restauro e consolidamento

pagina a fronte

Fig. 10

Il prospetto laterale verso la canonica, filo di ferro e Fotopiano

Fig. 11

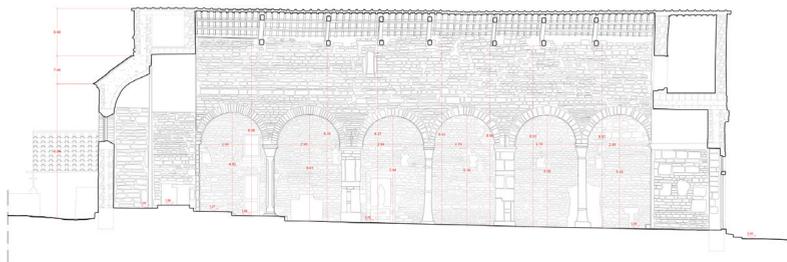
Il prospetto laterale verso la strada, filo di ferro e Fotopiano e foto mosaico delle immagini necessarie per realizzare il fotopiano

Fig. 12

Tavole tematiche della sezione trasversale interna, si noti come la spinta delle coperture non sia sufficientemente contenuta dai muri perimetrali e quindi come i paramenti siano soggetti ad un ribaltamento verso l'esterno



Foto mosaico



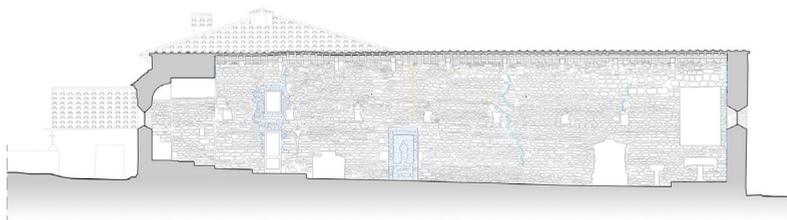
Fil di ferro



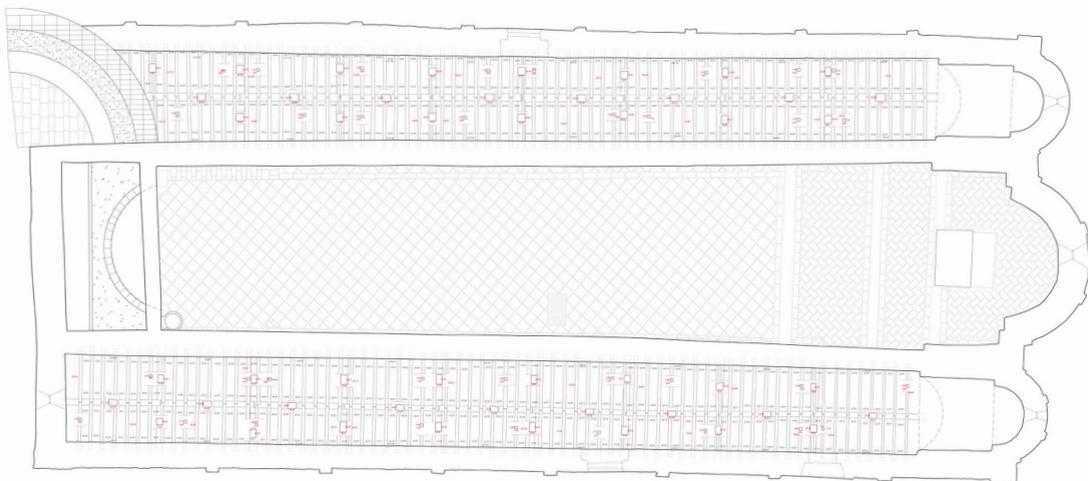
Fotopiano



Materico



Degrado



dell'edificio coerente è stato condotto *in situ* anche un accurato rilievo strutturale⁷. Appoggiato sulla base morfologica realizzata con la nuvola di punti, è stato quindi possibile, in fase di restituzione, disegnare tutti i singoli elementi lignei che compongono l'orditura delle coperture, sia della navata principale a capriate, sia delle navate laterali. In questo modo è stato possibile dimensionare tutti gli elementi strutturali della copertura e quindi fornire al progettista tutti i dati utili a condurre le verifiche statiche sul monumento. Inoltre si è potuto dimensionare gli strati che compongono il tetto ligneo sulla base di spessori affidabili dati dal rilievo laser così da riuscire a definire in maniera precisa l'analisi dei carichi di copertura.

Il rilievo laser scanner non fornisce solamente le informazioni sulla sezione dei singoli elementi ma ha anche consentito di visualizzare nella restituzione bidimensionale il livello di inflessione di tutti gli elementi che ad esempio compongono le capriate, in modo da poter facilmente andare a controllare le strutture morfologicamente meno stabili. Questa serie di presidi metodologici uniti alla precisione, l'accuratezza e la notevole densità di dati ha consentito un'analisi della chiesa sicuramente molto approfondita, senza tra l'altro fare ricorso a metodologie più invasive. Sarà naturalmente compito del restauratore che dovrà intervenire sul monumento decidere se alla luce dei dati raccolti ritiene opportuno intraprendere ulteriori approfondimenti, ma sicuramente potrà farlo con operazioni più mirate, andando ad indagare solo laddove si presentino le problematiche più complesse, consentendo quindi di risparmiare sui tempi e sui costi, andando ad effettuare interventi specifici ed altamente selettivi.

Aspetti innovativi ed elementi originali

La valutazione della displarità dei punti della nuvola rispetto ad piano assegnato, comunemente indicata con il comando *elevation map*, utilizzato per realizzare questo tipo di elaborati con CycloNe®, ovvero il software più diffuso per la gestione della nuvola di punti; è stato sperimentato per

pagina a fronte

Fig. 13
La sezione longitudinale mediana interna, filo di ferro e Fotopiano e foto mosaico delle immagini necessarie per realizzare il fotopiano

Fig. 14
La sezione longitudinale sulla navata interna verso la canonica, analisi del materico e del degrado

Fig. 15
Pianta dell'orditura lignea delle navate laterali

⁷Cfr. F. Doglioni, A. Moretti, V. Petri, Le chiese e il terremoto: dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione, Trieste 1994; A. Giuffrè, La meccanica nell'architettura, Roma 2003.

Fig. 16
Stratigrafia delle coperture delle navate laterali e della volta a botte

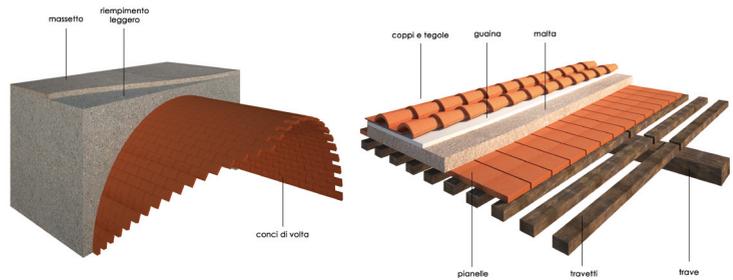
Fig. 17
Elevation map della facciata e della zona absidale

Fig. 18
Elevation map della parete sul lato canonica eseguita sia all'interno che all'esterno dell'edificio

pagina a fronte

Fig. 19
Modello dei ribaltamenti

la prima volta, dal nostro gruppo di ricerca, durante i primi interventi di rilievo ed analisi degli aggregati in seguito al disastroso terremoto dell'Aquila. Questo procedimento ha permesso di effettuare valutazioni piuttosto accurate sullo stato delle deformazioni plastiche dei setti murari e più in generale sullo stato di degrado strutturale del monumento. Per dare credibilità ed affidabilità scientifica a tali osservazioni è stato necessario prevedere un dettagliato protocollo di certificazione dei dati relativi al rilievo

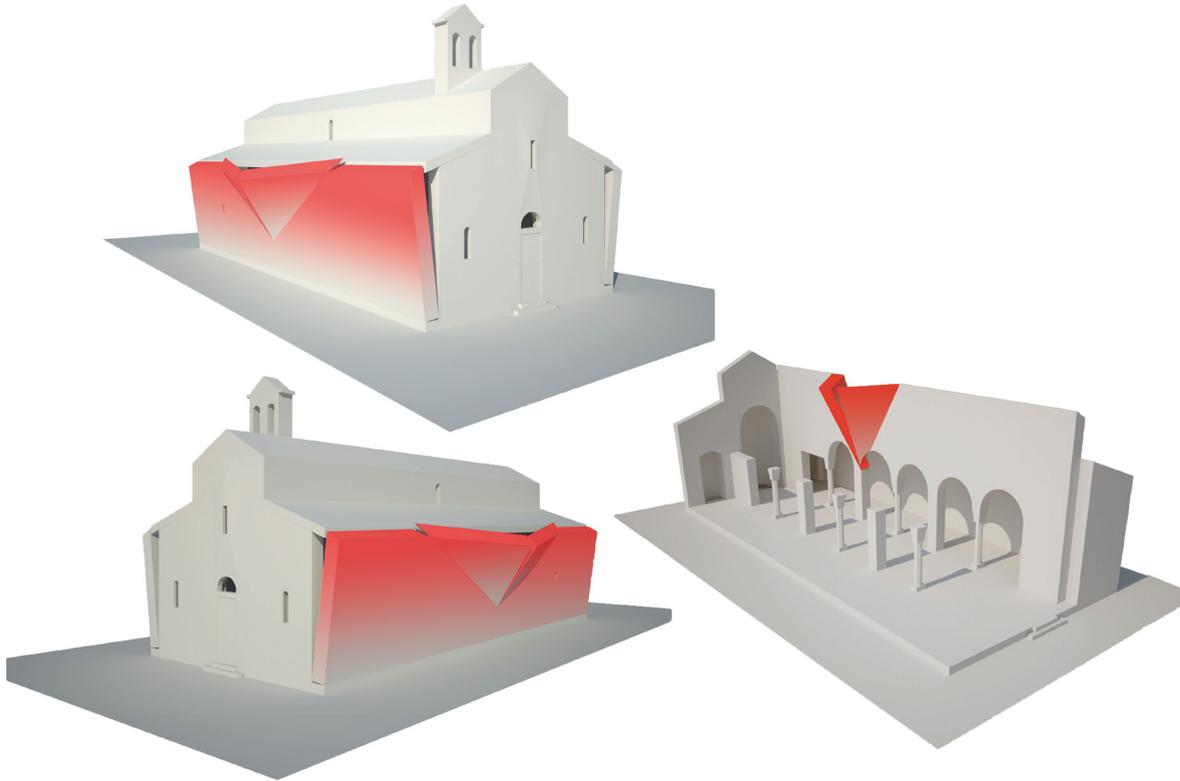


STRATIGRAFIA VOLTA A BOTTE

STRATIGRAFIA COPERTURA NAVATE LATERALI



laser scanner, che assieme ad un protocollo di analisi molto accurato basato sull'interscambio dei dati raccolti, ha consentito di giungere a risultati di conoscenza sufficientemente approfonditi, seppur affrontati con interventi di carattere speditivo. Interventi che comunque non pregiudicano ulteriori e più approfondite analisi strutturali, che qualora dovessero essere eseguite andranno ad aggiungersi al quadro conoscitivo conseguito con il presente lavoro.



Bibliografia

Bertocci S., Minutoli G., Pancani G. (2015), Rilievo tridimensionale e analisi dei disegni della Pieve di Romena, "Disegnare-Con", vol 8, n° XIV.

Bini M., Bertocci S. (2012), *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Novara, De Agostini Scuola S.p.A.

Docci M., Gaiani M., Maestri D. (2011), *Scienza del disegno*, Novara, De Agostini Scuola S.p.A.

Ballabeni A., Apollonio F.I., Gaiani M., Remondino F. (2012), *Advances in image pre-processing to improve automated 3D reconstruction*, «International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing Andpatial Information Sciences», XL-5/W4, pp. 315 - 323.

Docci M., Maestri D. (2010). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Bari.

Dogliani F., Moretti A., Petrini V. (1994), Le chiese e il terremoto: dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione, Trieste.

Giuffrè A., (2003) *La meccanica nell'architettura*.

Morelli E. (2007), *Strade e paesaggi della Toscana, il passaggio della strada, la strada come passaggio*, Alinea Editrice, Firenze.

Pancani G. (2016), *Piazza dei Miracoli a Pisa: il Battistero Metodologie di rappresentazione e documentazione digitale 3D*, Edifir, Firenze, gennaio.

Parenti R. (1988), *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in *Archeologia e restauro dei monumenti*, a cura di R. Francovich e R. Parenti, ed. All'insegna del Giglio, Firenze, pp. 249 - 279

Rinaudo F. (2003), *La tecnica laser scanning: applicazioni architettoniche e urbanistiche*, in *La tecnica del laser scanning: teoria e applicazioni*, a cura di Fabio Crossilla e Riccardo Galetto, Udine, pp. 134-136.

Tüskés A. (2005), *Il ciborio della Chiesa S. Michele Arcangelo di Metelliano a Cortona: una proposta di ricostruzione*, in: *Anuario dell'Accademia Etrusca di Cortona*, XXXI/2004-2005, pp. 75-83.