

Archeologia e Calcolatori
22, 2011, 199-216

FOTOMODELLAZIONE E STEREOFOTOGRAMMETRIA PER LA CREAZIONE DI MODELLI STRATIGRAFICI IN ARCHEOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

1. INTRODUZIONE

Gli attuali strumenti per la documentazione archeologica dell'elevato (derivati dall'archeologia di scavo) sono ancora quelli che furono indicati (con le prime esperienze) agli inizi degli anni '80 del secolo scorso, e cioè la restituzione grafica bidimensionale e le schede alfanumeriche (PARENTI 1988, 2000, 2004; BROGIOLO 2002b; BOATO 2008). Oggi, il rilievo grafico puramente lineare è stato soppiantato da una restituzione fotografica delle superfici murarie che viene impiegata come base per la redazione di grafici bidimensionali (vettoriali). In un edificio, però, le informazioni stratigrafiche, materiche e formali si distribuiscono nelle tre dimensioni (BROGIOLO 2002a, 23). Appare pertanto indispensabile passare da una restituzione grafica bidimensionale a una tridimensionale (BIANCHINI 2001; AZKARATE GARAIOLAUN 2002; CABALLERO, ARCE, UTRERO 2003; ARDISSONE, RINAUDO 2004; CATTANI, FIORINI, RONDELLI 2004; BINI, VERDIANI 2006; DRAP *et al.* 2007; D'ANDREA, IANNONE, SAFFIOTTI 2008; SIBILANO 2008; FIORINI 2009a; PERIPIMENO 2009).

Questo risultato può essere ottenuto impiegando la fotomodellazione o la stereofotogrammetria. In questo caso, i punti (entità geometriche adimensionali), le linee (entità geometriche monodimensionali) e i poligoni (entità geometriche bidimensionali) che vengono disegnati sopra le immagini possiedono le dimensioni, l'orientamento e la posizione nello spazio tridimensionale degli oggetti reali che rappresentano (Fig. 1). L'efficacia e la versatilità di queste tecniche di rilievo sono ancora in corso di valutazione anche se i primi risultati ottenuti sono del tutto soddisfacenti (BOGDANI *et al.* 2007; FIORINI 2008).

In questo contributo si descrivono le sequenze operative adottate per ottenere la restituzione tridimensionale degli elementi strutturali e della stratigrafia muraria di alcuni edifici pluristratificati. Nel primo caso di studio viene impiegata una tecnica per il rilievo archeologico di paramenti curvilinei. La seconda sequenza operativa conduce al rilievo integrale di edifici dotati di pareti assimilabili ad un piano. Il terzo e ultimo caso presenta un elemento di difficoltà in più: l'irregolarità formale della superficie muraria.

Le tecniche di rilievo descritte si basano sull'impiego del software Eos System PhotoModeler Scanner (d'ora in poi abbreviato PMS). Il programma misura sull'oggetto le coordinate tridimensionali di un set finito di punti

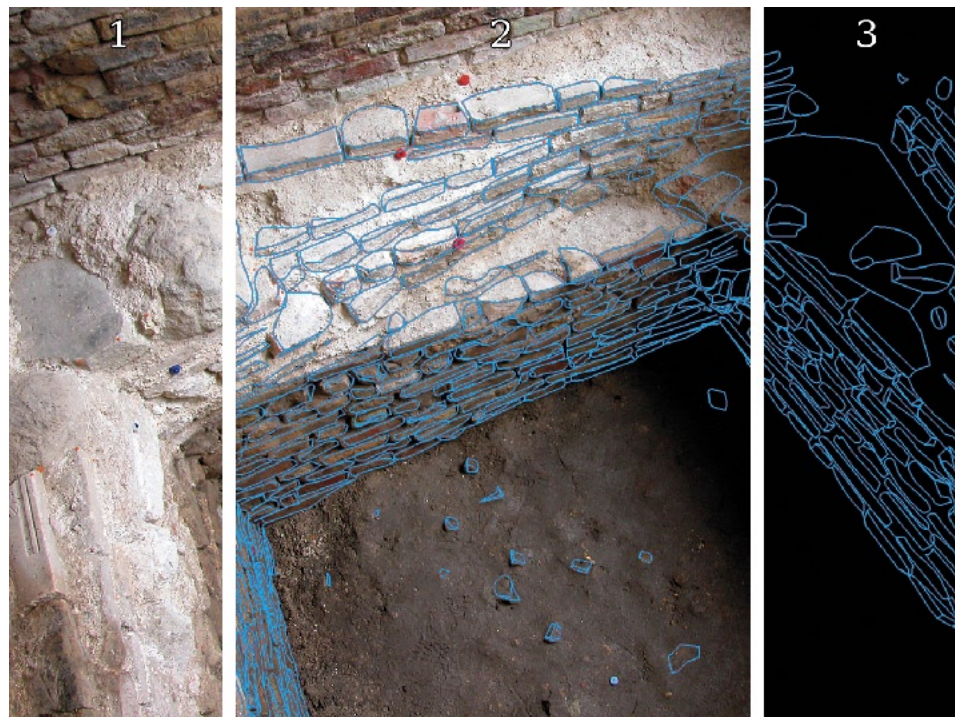


Fig. 1 – Campanile di San Severo (RA). Composizione fotografica che illustra le fasi principali della sequenza operativa: 1) acquisizione dei dati fotografici; 2) disegno su base fotogrammetrica degli elementi costitutivi della muratura; 3) visualizzazione nello spazio tridimensionale degli elementi.

utilizzando le foto dello stesso oggetto riprese da posizioni differenti. Dalla nuvola di punti il software può ricostruire la superficie esterna dell'oggetto e applicarvi la migliore foto a disposizione.

A.F.

2. LA CHIESA DI SAN BARTOLOMEO APOSTOLO (CESENA, FC)

La chiesa di San Bartolomeo Apostolo si trova in prossimità della riva sinistra del fiume Savio, in frazione Tipano, a circa 3 km da Cesena (FC). L'edificio, con fronte d'ingresso rivolto ad O, è a pianta rettangolare, con lati di $8 \times 16,9$ m. Le murature raggiungono un'altezza massima di circa 8,6 m e sono costituite prevalentemente da materiale laterizio. L'abside, a pianta semicircolare, raggiunge un'altezza di 5,5 m ed è caratterizzata dalla presenza di tre monofore, anch'esse in laterizio, poste a un'altezza di circa 1,9 m dal piano di calpestio attuale. Le tre aperture, a doppia strombatura, sono

sormontate da un filare di archetti pensili ciechi, solo in parte conservati. Il fianco meridionale della chiesa presenta tre lesene e altrettante monofore (della stessa foggia di quelle absidali), la cui posizione non segue un ritmo regolare parametrato alla lunghezza totale della chiesa. Il fianco settentrionale differisce da quello meridionale nel numero delle lesene (quattro) e delle monofore (solo due). Nella specchiatura adiacente all'abside, in posizione decentrata, si trova, inoltre, un piccolo ingresso secondario di forma rettangolare.

La frequentazione del sito di Tipano è attestata dalle fonti scritte a partire dal X secolo, epoca in cui l'imperatore Ottone II, su istanza della moglie Teofana, conferma il *Castellum de Taibano* alle monache benedettine di Santa Maria in Celoseo (TURCI 2008, 321). La prima attestazione certa dell'*ecclesia S. Bartoli de Taipano* si trova, però, in un documento del 1122 (BURCHI 1962, 34). I manoscritti di questo periodo non forniscono informazioni riguardanti lo stato materiale della chiesa. Utile si dimostra invece la documentazione scritta e cartografica redatta a partire dal XIV secolo. Nel 1344, ad esempio, il borgo e la chiesa di Tipano sarebbero parzialmente distrutti da Armingo, rettore della Romagna (BURCHI 1944, 495).

Da una mappa catastale del 1740, conservata nell'Archivio di Stato di Cesena, si ottengono le prime informazioni sulla consistenza di alcuni corpi di fabbrica addossati alla chiesa. In prossimità dell'abside, nel fianco meridionale, si trova un edificio con pianta a forma di L maiuscola, mentre a N se ne riconoscono altri due: uno, a pianta rettangolare che corre lungo tutto il fianco, e uno, di dimensioni più ridotte, a pianta quadrata (SEVERI 1996, 10). Anche la cartografia storica ottocentesca informa circa l'esistenza di edifici addossati al corpo absidato della chiesa (Ms. 1843). Questa situazione viene confermata anche da alcuni manoscritti tardo-ottocenteschi in cui viene fornita una descrizione di tutti i corpi di fabbrica che costituiscono il complesso ecclesiastico, tra cui una sacrestia (a S) e, sul fronte opposto, la casa parrocchiale con il campanile a pianta quadrata, alto 25 piedi e munito di due campane (Ms. 1834; TURCI 2008, 322-323). La torre campanaria, d'altra parte, doveva esistere già alla fine del XV secolo, quando viene fusa e benedetta dal vescovo di Cesena una delle due campane (Ms. 1890, 6). Dallo stesso manoscritto di fine Ottocento si apprende, inoltre, che nel 1775 la chiesa è soggetta ad alcune opere di *rimodernamento* per volere dell'arciprete Santerini (Ms. 1890, 6). Anche nel secolo successivo è documentata una serie di interventi di restauro, nell'ambito dei quali viene ricostruita la facciata della chiesa (TURCI 2008, 323; Ms. 1890, *passim*).

Nel 1956, a riparazione dei danni di guerra, il Genio Civile esegue alcuni restauri nella parte sommitale del campanile e alla canonica, ma è solo agli inizi degli anni Sessanta che questi edifici, per questioni d'instabilità strutturale, vengono abbattuti e le fiancate N e S della chiesa consolidate. L'aspetto che la chiesa doveva avere prima di questi interventi di altissimo impatto strutturale è osserva-

bile in alcuni documenti fotografici conservati nell'Archivio della Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per le province di Ravenna, Ferrara, Forlì-Cesena e Rimini (SBAP). In queste immagini si riconoscono gli edifici annessi alla chiesa, il campanile e l'abside. Quest'ultima appare parzialmente intonacata (parte sommitale) ed è caratterizzata da tre monofore: la centrale rimasta sostanzialmente invariata nel tempo mentre le due laterali successivamente ricostruite a quota meno elevata. Gli ultimi lavori di restauro documentati risalgono agli anni '60 e sono promossi dalla SBAP (SEVERI 1996, 15-16).

L'indagine archeologica, avviata nel dicembre 2010 e tuttora in corso di svolgimento, ha messo in luce nelle pareti esterne della chiesa una situazione stratigrafica piuttosto ricca e interessante. In particolare, l'abside appare il risultato di almeno due cantieri edilizi: la parte basale (US1) differisce da quella soprastante (US2) nella forma e nella disposizione dei materiali. Tale difformità può essere spiegata se si ipotizza una sopraelevazione dei muri perimetrali della chiesa. L'analisi stratigrafica ha, inoltre, documentato l'esistenza di due US di forma allungata poste al di sopra delle attuali monofore laterali e riconducibili ad interventi di tamponatura delle aperture visibili solo nelle foto d'archivio.

2.1 *Acquisizione dei dati metrici e fotografici*

Le operazioni di rilievo hanno coperto un arco di tempo di circa 3 ore. Gli strumenti utilizzati sono stati una riga graduata (in alluminio) munita di doppia bolla, sfere (diametro 0,4 mm) in plastica dura (perline per la decorazione di tessuti), piccoli dischi di plastilina (diametro 1 cm ca.), una rotella metrica, un treppiede e una fotocamera Nikon D80 munita di certificato di calibrazione. Per le attività sul campo si sono impiegati due operatori, uno dei quali esperto in tecniche di rilevamento tridimensionale.

In primo luogo, con l'ausilio della riga, si sono posizionati sulla superficie muraria dell'abside 4 dischi di plastilina con al centro altrettante sfere in plastica dura: 2 sull'asse verticale (distanti 55 cm) e 2 su quello orizzontale (distanti 30 cm). La presenza di target a distanza nota è indispensabile per assegnare le dimensioni reali e il corretto orientamento spaziale alla restituzione grafica finale. Il software calcola la posizione spaziale di qualsiasi oggetto qualora vengano specificati sulle foto alcuni punti in comune. Per facilitare questa operazione si sono distribuiti sulla superficie altri 24 target. La loro distribuzione spaziale è stata annotata su un'apposita scheda, nella quale si sono riportate anche le linee essenziali del fronte absidale.

Nella successiva fase di lavoro si sono studiati i punti di presa fotografica. Si è deciso di suddividere la superficie dell'edificio in tre settori, ciascuno dei quali visibile in almeno quattro foto: una stereocoppia (con assi perpendicolari alla superficie) e due prese convergenti (assi inclinati rispetto alla superficie) (Tab. 1, Fig. 2). Questa strategia di lavoro è stata adottata per ottenere un livello di dettaglio formale del modello quanto più elevato possibile (BORRA

Foto \ Progetto	1	2	3
DSC_7993.NEF			●
DSC_7990.NEF			●
DSC_7991.NEF			●
DSC_7996.NEF	●		●
DSC_7983.NEF	●		
DSC_7984.NEF	●		
DSC_8001.NEF	●	●	
DSC_8000.NEF		●	
DSC_8005.NEF		●	
DSC_8008.NEF		●	

Tab. 1 – Chiesa di San Bartolomeo Apostolo (Cesena, FC). Le immagini impiegate nei diversi progetti di elaborazione fotogrammetrica.

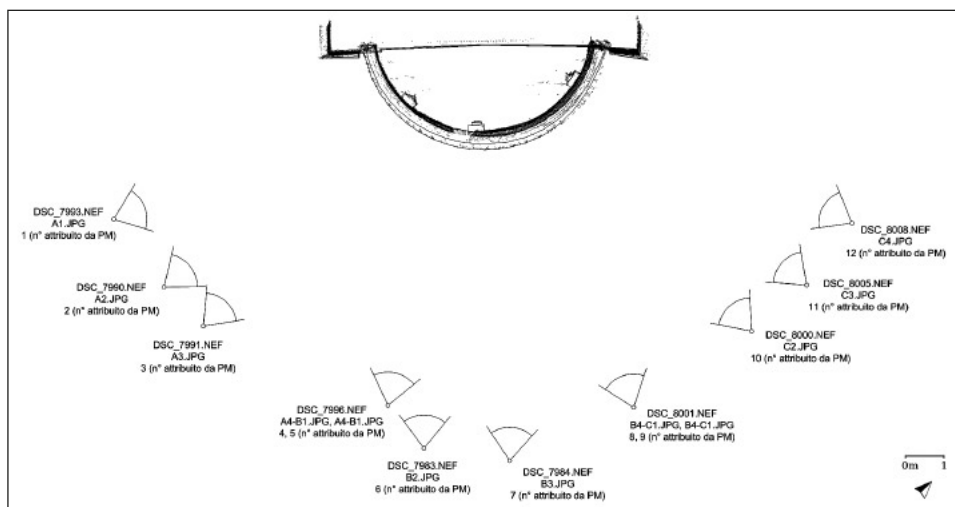


Fig. 2 – Chiesa di San Bartolomeo Apostolo (Cesena, FC). Schema di ripresa fotogrammetrica.

2000). Per quanto riguarda le foto stereoscopiche, la flessibilità del software permette l'elaborazione di prese tra loro leggermente convergenti e pertanto non perfettamente ortogonali alla base di presa (distanza tra le fotocamere). Questa caratteristica consente di eseguire il rilievo senza l'impiego di costosi e ingombranti supporti per lo stazionamento stereoscopico delle fotocamere. Il rapporto consentito tra la base di presa e la distanza dall'oggetto è altrettanto flessibile (da 1/10 a 1/2): in questo caso è stato di 1/4. Tutte le prese fotografi-

che si sono realizzate a una distanza di circa 8 m dalla superficie architettonica con l'ausilio di un comune treppiede per ridurre l'effetto del micromosso e ottenere la massima nitidezza possibile. Il tempo impiegato per eseguire il rilievo fotografico è stato piuttosto lungo (93 minuti ca.) a causa delle numerose interruzioni in attesa delle idonee condizioni d'illuminazione.

2.2 Elaborazione informatica dei dati e restituzione grafica

Per elaborare i dati si sono impiegati due computer: una workstation mobile Dell Precision M6300 e un PC Desktop assemblato. Le foto acquisite sul campo sono state esaminate al monitor, selezionate e convertite in formato JPG. I file presentavano in origine l'estensione NEF (Nikon Electronic Format), un tipo di formato di ripresa Raw ("grezzo") che conteneva ancora la gamma dinamica a 12 bit registrata dal sensore. Per questo la registrazione in Raw ha dato la possibilità di catturare le immagini con una regolazione anche non ottimale di alcune impostazioni (esposizione, bilanciamento del bianco, etc.) e di ritrovare via software i settaggi più adeguati. Dopo aver caricato il certificato di calibrazione e le immagini all'interno di PMS si sono ottenute le coordinate spaziali di tutti i target di plastilina visibili nelle foto e generate le nuvole di punti che descrivono l'andamento generale della superficie absidale. Confrontando i dati metrici forniti dal software con quelli acquisiti direttamente sul campo, è stata riscontrata una differenza non superiore a 2 mm (distanza tra i due target disposti sull'asse orizzontale: riga graduata 30 cm, PMS 29,8 cm). Le nuvole di punti relative ai tre settori dell'abside sono state unite in una singola entità grafica, dalla quale è stata creata automaticamente una superficie composta da 104.769 triangoli adiacenti. Il modello ottenuto registra l'andamento curvilineo dell'abside e le irregolarità superficiali riconducibili a interventi di ricostruzione o restauro delle murature. In corrispondenza della parte basale dell'edificio, delle tre aperture, del timpano e del tetto di copertura dell'abside la nuvola non presentava, invece, un numero di punti sufficiente per la ricostruzione automatica delle superfici. Il problema è stato risolto con l'ausilio di programmi per la modellazione tridimensionale (Google SketchUp, AutoCAD).

Dopo la fase di costruzione delle superfici architettoniche si è passati a quella di arricchimento del livello informativo del modello procedendo con la restituzione grafica degli elementi strutturali e delle US. Questa operazione è piuttosto semplice: si disegna direttamente sull'immagine fotografica e si ottiene, in tempo reale, il perimetro dell'elemento o dell'US già orientato nello spazio tridimensionale. Il prodotto finale, per concludere, è stato importato nel software ESRI ArcScene per la creazione di viste assonometriche e l'implementazione di un collegamento attivo con i dati alfanumerici contenuti nelle schede di US (Fig. 3).

V.A.

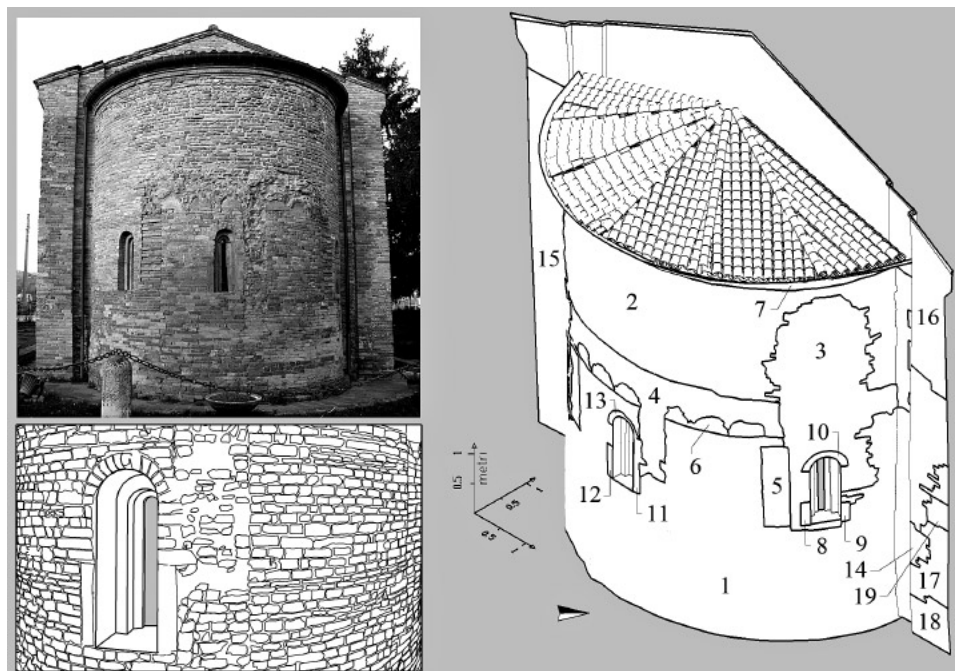


Fig. 3 – Chiesa di San Bartolomeo Apostolo (Cesena, FC): l'abside della chiesa (in alto a sinistra), la restituzione tridimensionale degli elementi strutturali (in basso a sinistra, particolare) e la restituzione tridimensionale della stratigrafia muraria (a destra, vista assonometrica). La disposizione delle tegole del tetto di copertura dell'abside è un'ipotesi proposta dagli autori.

3. LA TORRE DI MONTE ERNO (GALEATA, FC)

La torre si trova nel medio Appennino, sulla sommità del monte Erno (482 m slm), in località Monte Termine, a pochi chilometri dall'abitato di Strada San Zeno, nel comune di Galeata (FC). Attorno all'edificio il paesaggio montano è caratterizzato dalla presenza di vasti terreni agricoli (seminativi) e boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni.

Recentemente restaurata dai fratelli Bonavita, la torre nel 1834 (anno di attivazione del catasto generale toscano) risulta impiegata come colombaia. Dal registro catastale (il "campione") della comunità di Galeata (prima metà del XIX secolo) si apprendono, inoltre, il nome del proprietario (Luigi Bonavita) e l'estensione della superficie dell'appezzamento (48 braccia quadre, vale a dire, 16,32 m² ca.). Negli estimi cinquecenteschi di San Zeno non si trovano, invece, informazioni circa l'esistenza della torre: è documentata la sola presenza di case con fabbricati accessori (*resedii*), terreni arativi, oliveti e vigneti. In età medievale l'area è abitata, ma nei documenti disponibili

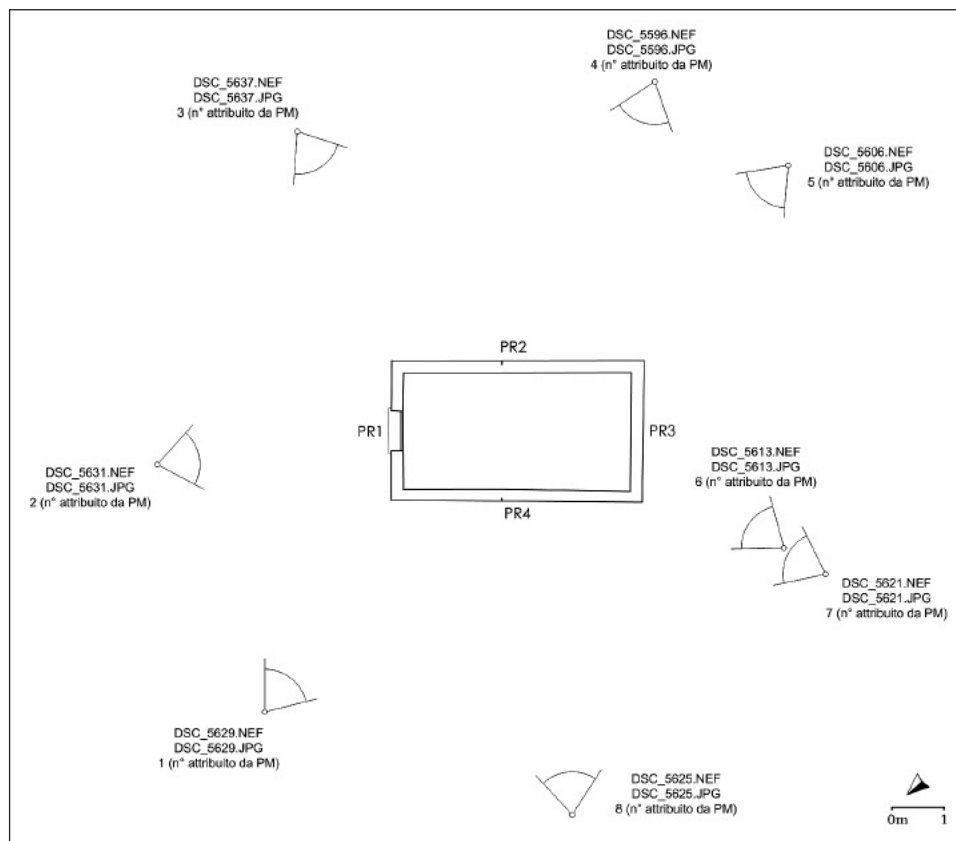


Fig. 4 – Torre di Monte Erno (Galeata, FC). Schema di ripresa fotogrammetrica.

(XIII secolo), anche in questo caso, non si trovano informazioni certe sulla presenza di edifici militari: *Montem Termini* è indicato, senza anteporre il termine *castrum*, tra le località appartenenti al monastero di *Sancti Hylari de Galiada* (FIORINI 2009b).

Oggi, la torre di Monte Erno è un edificio isolato, di piccole dimensioni, con porta d'ingresso al piano terra. La sua forma è piuttosto regolare e assimilabile ad un parallelepipedo sormontato da un tetto di copertura a due falde. La pianta è rettangolare, con lati di 4,7x2,6 m e le murature raggiungono un'altezza di circa 7 m. La torre è costruita con elementi litici "da muratore", vale a dire, materiale costruttivo non lavorato o al massimo spaccato, ricavato (dagli affioramenti rocciosi) per semplice sfaldatura degli strati naturali. Gli elementi litici, inoltre, presentano facce esterne non lavorate,

Foto \ Prospetto	1	2	3	4
DSC_5629.NEF (1)	●			●
DSC_5631.NEF (2)	●			
DSC_5637.NEF (3)	●	●		
DSC_5596.NEF (4)		●		
DSC_5606.NEF (5)		●	●	
DSC_5613.NEF (6)			●	
DSC_5621.NEF (7)			●	●
DSC_5625.NEF (8)				●

Tab. 2 – Torre di Monte Erno (Galeata, FC). I prospetti rappresentati nelle diverse fotografie.

dimensioni eterogenee e una disposizione in filari irregolari (“a bancate”) su letti di calce di spessore variabile (FIORINI 2010).

I paramenti esterni della torre sono interamente osservabili e non presentano andamenti curvilinei o irregolarità formali rilevanti. Ridotta è la presenza di elementi architettonici sporgenti o rientranti (il tetto di copertura, l’ingresso principale, tre finestre e due elementi per il supporto di una mensola). Queste caratteristiche hanno suggerito l’impiego di una tecnica di rilievo più semplice rispetto a quella adottata per la chiesa di San Bartolomeo. Per modellare le superfici murarie della torre non si sono sfruttate le nuvole di punti estratte da coppie stereoscopiche, ma la restituzione grafica (vettoriale) dei bordi che delimitano i prospetti e le facce degli elementi architettonici (FIORINI 2004, 79). Ciò significa che le superfici generate all’interno dei bordi sono piatte e non registrano eventuali irregolarità o curvature locali. Questo processo di sintesi formale, tuttavia, non determina una perdita rilevante di informazioni in quanto gli elementi architettonici della torre appaiono piuttosto regolari e i prospetti assimilabili ad un piano.

Il rilievo fotografico è stato eseguito in tempi molto rapidi. Si sono impiegati 15 minuti per effettuare le prese normali (asse della camera perpendicolare alla superficie) e convergenti (assi inclinati rispetto alla superficie) di tutti i prospetti della torre (Fig. 4, Tab. 2).

Dopo aver ricostruito le superfici murarie (nel modo precedentemente descritto), è stata eseguita la restituzione grafica tridimensionale di tutti gli elementi strutturali. Grazie al collegamento tra le immagini e le superfici, “ripassando” il perimetro di qualsiasi elemento il software ne calcola in real-time la posizione, l’orientamento e la dimensione reale (Fig. 5). Con lo stesso metodo è stata documentata la distribuzione nelle tre dimensioni delle evidenze stratigrafiche (Fig. 6). Grazie agli strumenti del software ESRI ArcScene, infine, si sono variati i colori del modello stratigrafico per comunicare i risultati delle indagini archeologiche come, ad esempio, l’appartenenza di ogni unità stratigrafica alle diverse fasi edilizie (Fig. 7).

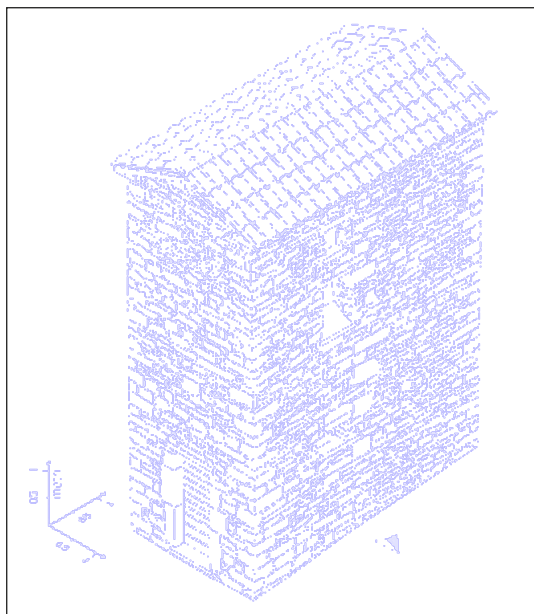


Fig. 5 – Torre di Monte Erno (Galeata, FC). Restituzione tridimensionale degli elementi strutturali (vista assonometrica).

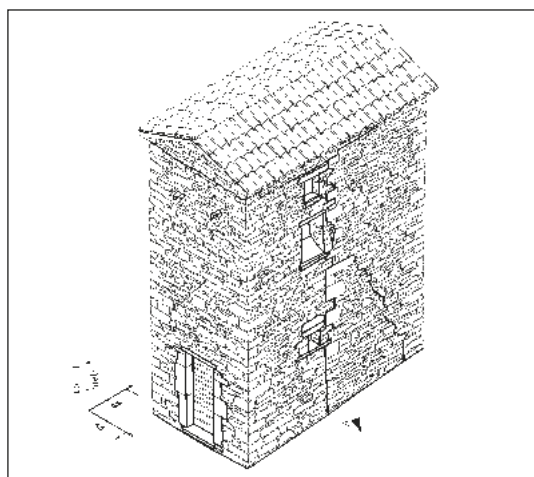


Fig. 6 – Torre di Monte Erno (Galeata, FC). Restituzione tridimensionale degli elementi strutturali e della stratigrafia muraria (vista assonometrica).

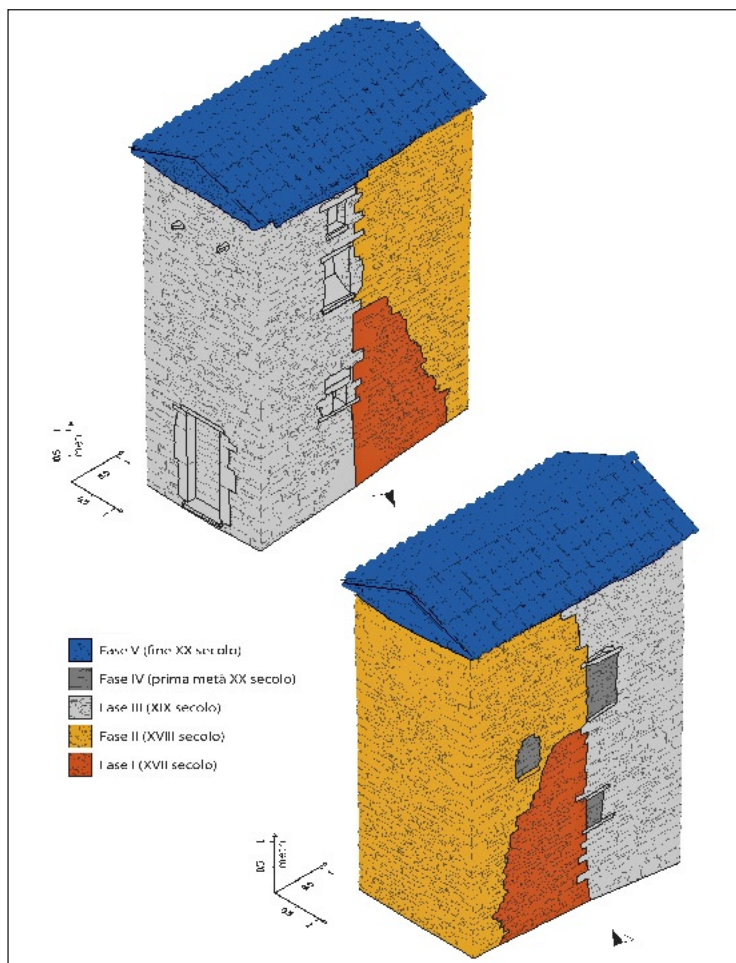


Fig. 7 – Torre di Monte Erno (Galeata, FC). Restituzione tridimensionale degli elementi strutturali e della stratigrafia muraria, con individuazione delle diverse fasi edilizie (vista assonometrica).

L'indagine stratigrafica delle murature, integrata con i dati desunti dalla documentazione edita e d'archivio (fonti scritte, cartografiche e iconografiche), ha permesso di riconoscere 5 fasi costruttive, che scandiscono lo sviluppo edilizio della torre di Monte Erno a partire dal Seicento. Nel XVII secolo (fase I), viene costruito un edificio del quale si conserva un breve tratto di muratura nel prospetto N-O. La forma della pianta, probabilmente quadrata, può essere solo ipotizzata. Per le sue ridotte dimensioni (2,6x2,6 m ca.) e le

caratteristiche morfologiche del luogo in cui si trova, può essere interpretata come una “torretta da vigna”, una tipologia edilizia funzionale ai lavori di agricoltura utilizzata per il riparo degli attrezzi e diffusa nelle valli romagnole a partire dal Seicento. Nel XVIII secolo (fase II) – e comunque prima del XIX secolo – l’edificio viene in parte ricostruito. Nel prospetto N-O sono presenti fori di areazione di forma quadrangolare che permettevano l’ingresso e il ricovero dei piccioni (usati come pietanza e per la raccolta del concime organico). Nel XIX secolo (fase III), quando abbiamo notizia della superficie occupata dall’edificio, viene addossato al prospetto N-E un nuovo corpo di fabbrica. Nel fronte d’ingresso, al di sotto dei fori di colombaia circolari, si conservano due elementi sporgenti che probabilmente sorreggevano una cornice o una mensola per favorire l’ingresso dei rondoni e degli storni. Le finestre del prospetto S vengono tamponate presumibilmente nella prima metà del XX secolo (fase IV) e alla fine del XX secolo (fase V), dopo un periodo di abbandono e progressivo deterioramento strutturale, il corpo di fabbrica viene completamente restaurato (FIORINI 2009b).

A.F.

4. IL CAMPANILE DI SAN SEVERO (RAVENNA, RA)

L’analisi archeologica delle strutture conservate in elevato del campanile si è svolta nel 2006 (FIORINI 2006). L’analisi stratigrafica, integrata con i dati desunti dalla documentazione edita, d’archivio (testuale, grafica e fotografica) e con i risultati delle analisi preliminari dei materiali rinvenuti nel deposito scavato, ha permesso di riconoscere 4 fasi costruttive, che scandiscono lo sviluppo edilizio del campanile a partire dall’età bassomedievale. Nel XII secolo (fase I) una torre campanaria a pianta quadrata viene addossata al muro N della navata sinistra della basilica tardoantica di San Severo. I paramenti sono realizzati con laterizi di recupero di varia pezzatura, legati con malta di calce e organizzati in filari senza una precisa alternanza nella disposizione. L’interno dell’edificio è ad ambiente unico, con pavimentazione sostenuta da uno strato di colmata ricco di laterizi e da piccole strutture in laterizio costruite agli angoli delle pareti (“pennacchi”). Nel XVI (fase II), quando abbiamo notizia di un restauro, il corpo di fabbrica viene soppiantato da una seconda torre campanaria a pianta quadrata, realizzata con materiale lapideo e laterizi di reimpiego. Le nuove murature, che si conservano ancora oggi per un’altezza di pochi metri, presentano andamenti differenti rispetto a quelli del precedente edificio. Nel paramento esterno del prospetto N si conservano gli elementi decorativi del fusto: una larga specchiatura centrale (una rientranza del paramento) affiancata da due lesene angolari disposte a filo di pianta. In età moderna il campanile viene abbandonato e le sue strutture, in progressivo stato di degrado, reimpiegate con finalità diverse da quelle originarie (fase III).

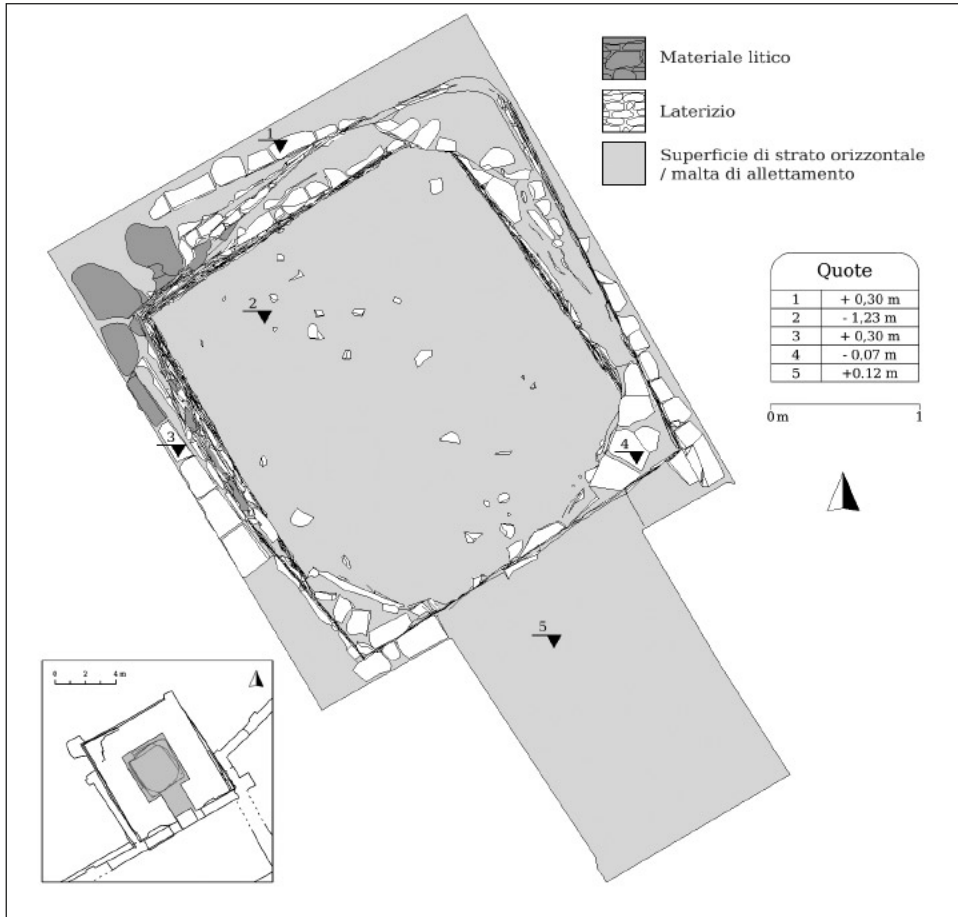


Fig. 8 – Campanile di San Severo (Ravenna, RA). Pianta delle strutture rinvenute all'interno dell'edificio, con individuazione dei diversi materiali costruttivi.

Dal 1981 al 1991 si eseguono una serie di interventi di restauro nell'ambito dei quali viene ricostruita buona parte dei paramenti esterni (fase IV).

Le murature superstiti del campanile raggiungono complessivamente un'altezza massima di circa 3,60 m e presentano superfici piuttosto irregolari a causa del degrado strutturale e degli interventi di ricostruzione (Fig. 8). Per questo motivo il rilievo formale si è rivelato piuttosto complesso e impegnativo. In questo caso, inoltre, la restituzione grafica non è stata derivata da una nuvola di punti ma ogni singolo laterizio è stato disegnato nello spazio tridimensionale individuando e "marcando" su almeno tre foto i punti angolari principali che caratterizzano il loro perimetro (URCIA 2009). Ci sono

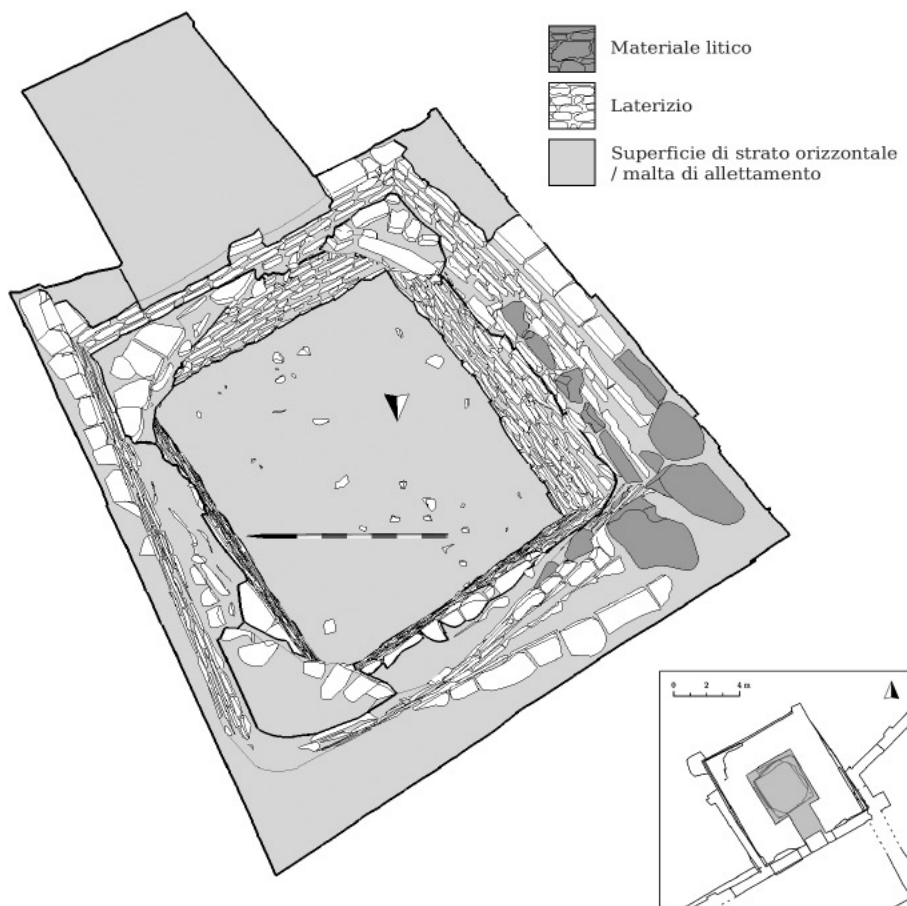


Fig. 9 – Campanile di San Severo (Ravenna, RA). Restituzione tridimensionale della stratigrafia muraria e degli elementi strutturali, con individuazione dei diversi materiali costruttivi (vista prospettica).

voluti, pertanto, più di 8.000 punti per restituire graficamente la forma di tutti gli elementi strutturali. Si tratta, quindi, di un metodo di lavoro piuttosto dispendioso (in termini di tempo) che dovrà, pertanto, essere migliorato. Per quanto riguarda la documentazione stratigrafica, il perimetro di ogni unità è stato disegnato direttamente sul modello tridimensionale sfruttando i punti e i bordi degli elementi strutturali (Fig. 9). Il software ESRI ArcScene ha, infine, permesso di ottenere in tempi brevi una distinta caratterizzazione grafica delle superfici per appartenenza alla fase costruttiva (Fig. 10).

A.F.

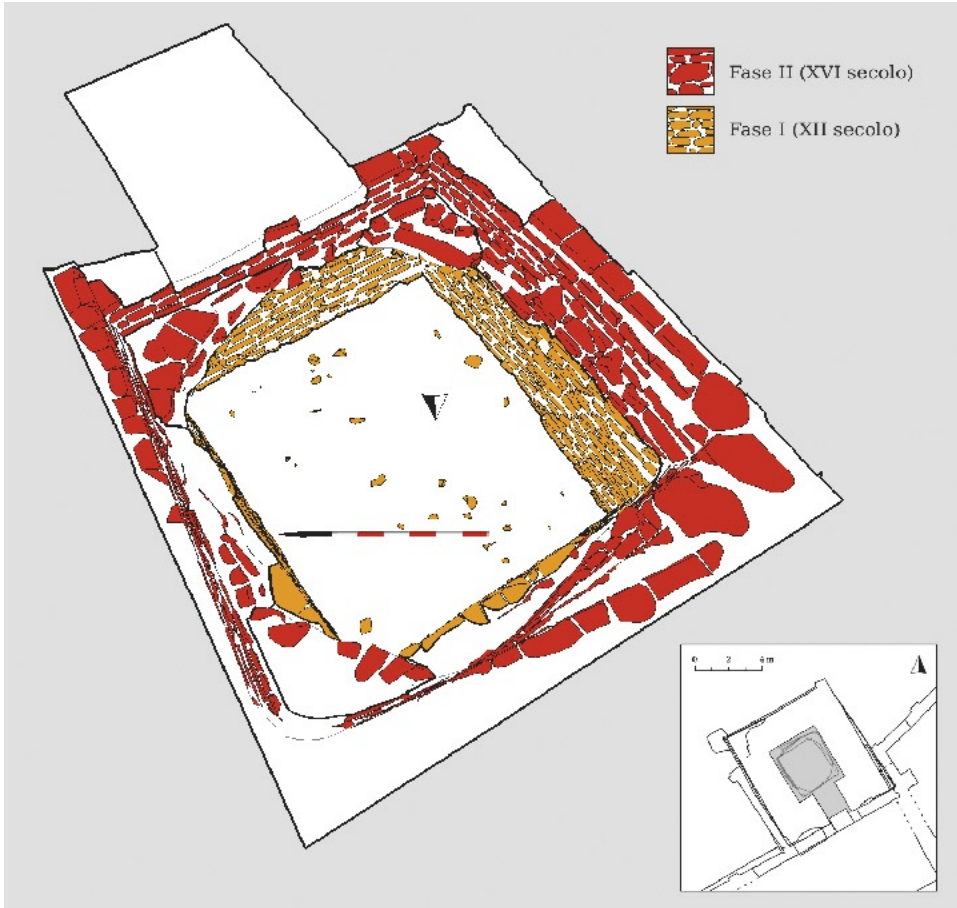


Fig. 10 – Campanile di San Severo (Ravenna, RA). Restituzione tridimensionale degli elementi strutturali e della stratigrafia muraria, con individuazione delle diverse fasi edilizie (vista prospettica).

5. CONCLUSIONI

Secondo le teorie di Gregory Bateson, ricevere informazioni vuol dire ricevere *notizie di differenza* (BATESON 1987, 470). Anche per determinare la storia costruttiva di un edificio è fondamentale impiegare strumenti analitici in grado di veicolare un volume sempre maggiore di tali informazioni. Le rappresentazioni grafiche tridimensionali possono fornire notizie di differenza quando permettono di osservare e confrontare simultaneamente tutte le parti di un edificio. Ruotando il modello della torre di Monte Erno è stato possibile, ad

esempio, verificare rapidamente la difformità di alcuni caratteri architettonici e, allo stesso tempo, individuare sulle pareti opposte (N e S) una situazione stratigrafica pressoché identica. La caratterizzazione del modello stratigrafico tramite gli strumenti del GIS ha garantito, infine, una comunicazione più chiara ed efficace dei risultati delle indagini archeologiche (ad es. una distinta colorazione delle superfici stratigrafiche per appartenenza alla fase costruttiva).

Per riassumere, stazioni totali e fotogrammi costituiscono oggi gli strumenti di rilievo più diffusi per la documentazione archeologica dell'elevato (piante, sezioni, prospetti, eidotipi stratigrafici e rilievi di dettaglio "pietra su pietra"). La necessità di ottenere rappresentazioni grafiche non solo bidimensionali ma tridimensionali del manufatto architettonico (unitamente alla ricerca di una maggiore precisione delle misure e rapidità di esecuzione) ci spinge, però, verso la continua sperimentazione di nuovi strumenti e metodologie operative. Il rilievo tridimensionale fornisce una visione d'insieme dei volumi dell'oggetto, permette di derivare rappresentazioni bidimensionali (planimetrie, etc.), garantisce una restituzione grafica più realistica delle US, offre la possibilità di elaborare assonometrie utili alla comprensione del processo di posa in opera degli elementi costruttivi e fornisce un quadro dimensionale completo (lunghezza, spessore, larghezza) di oggetti, modanature ed elementi decorativi.

Con la fotomodellazione si sono ottenuti risultati soddisfacenti in tutti i casi di studio affrontati, sostenendo un costo relativamente inferiore rispetto ad altri sistemi di rilevamento tridimensionale (ad es. il laser scanner e la stazione totale motorizzata). L'impiego del documento fotogrammetrico, come base del disegno archeologico, offre, pertanto, vantaggi in termini di contenuto informativo della registrazione, rapidità di esecuzione e accuratezza della misura.

A.F., V.A.

ANDREA FIORINI, VALENTINA ARCHETTI
Dipartimento di Archeologia
Università degli Studi di Bologna

BIBLIOGRAFIA

- ARDISSONE P., RINAUDO F. 2004, *Il castello di Graines: metodologie a confronto per il rilievo delle murature*, «Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia», 3, 37-45.
- AUGENTI A., FIORINI A., MONTANARI M., SERICOLA M., URCIA A., ZAFFAGNINI F. 2009, *Archeologia dell'architettura in Emilia-Romagna: primi passi verso un progetto organico*, «Ocnus», 17, 65-76.
- AZKARATE GARAI-OLAUN A. 2002, *Intereses cognoscitivos y praxis social en Arqueología de la Arquitectura*, «Arqueología de la Arquitectura», 1, 55-71.
- BATESON G. 1987, *Verso un'ecologia della mente*, Milano, Adelphi.
- BIANCHINI C. 2001, *Nuove applicazioni fotogrammetriche al rilievo e rappresentazione delle superfici architettoniche: il Modello Digitale Continuo*, in R. MIGLIARI (ed.), *Frontiere del rilievo. Dalla matita alle scansioni 3D*, Roma, Gangemi, 127-140.

- BINI M., VERDIANI G. 2006, *Il rilievo delle archeologie monumentali: esperienze del laboratorio di rilievo della Sezione Architettura e Disegno di Firenze*, in S. CAMPANA, R. FRANCOVICH (eds.), *Laser scanner e GPS. Paesaggi archeologici e tecnologie digitali*, Firenze, All'insegna del Giglio, 107-115.
- BOATO A. 2008, *L'archeologia in architettura. Misurazioni, stratigrafie, datazioni, restauro*, Venezia, Marsilio.
- BOGDANI J., FIORINI A., SILANI M., ZANFINI M. 2007, *Esperienze di stereofotogrammetria archeologica*, «Ocnus», 15, 27-44.
- BORRA D. 2000, *La modellazione virtuale per l'architettura antica. Un metodo verso l'isomorfismo percettivo*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 259-272.
- BROGIOLO G.P. 2002a, *L'archeologia dell'architettura in Italia nell'ultimo quinquennio (1997-2001)*, «Arqueología de la Arquitectura», 1, 19-26.
- BROGIOLO G.P. 2002b, *Lo studio degli elevati*, in *Treccani 2000. Il mondo dell'archeologia*, I, Roma, Istituto della Enciclopedia Italiana Treccani, 199-201.
- BURCHI P. 1944, *Nuova ecclesiografia cesenate*, dattiloscritto, Biblioteca Comunale Cesena.
- BURCHI P. 1962, *Tre antichi manoscritti della valle del Savio*, Faenza, Fratelli Lega.
- CABALLERO L., ARCE F., UTRERO M.^a 2003, *Santa Comba de Bande (Orense). Arquitectura y documentación escrita*, «Arqueología de la Arquitectura», 2, 69-73.
- CATTANI M., FIORINI A., RONDELLI B. 2004, *Computer applications for a reconstruction of archaeological stratigraphy as a predictive model in urban and territorial contexts*, in K.F. AUSSERER, W. BÖRNER, M. GORIANY, L. KARLHUBER-VÖCKL (eds.), *Enter the Past: The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage. CAA 03 Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 31st Conference (Vienna 2003)*, Oxford, Archaeopress, 299-303 (<http://www2.unibo.it/Archeologia/ArcMed/testi/129.pdf>; ultimo accesso 20/11/2009).
- D'ANDREA A., IANNONE G., SAFFIOTTI L. 2008, *Metodologie laser scanning per il rilievo archeologico: metodi operativi e standard di documentazione*, in VOLPE, DE FELICE, SIBILANO 2008, 123-134.
- DRAP P., DURAND A., NEDIR M., SEINTURIER J., PAPINI O., GABRIELLI R., PELOSO D., KADOBAYASHI R., GAILLARD G., CHAPMAN P., VIANI W., VANNINI G., NUCCIOTTI M. 2007, *Photogrammetry and archaeological knowledge: Toward a 3D information system dedicated to Medieval Archaeology: a case study from the Shaubak Castle in Jordan*, in F. REMONDINO, S. AL-HAKIM (eds.), *3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures. Proceedings of the 2nd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2007 (ETH Zurich 2007)*.
- FIORINI A. 2004, *Il castello di Roccella: analisi archeologica di un sito fortificato medievale*, «Archeologia dell'Architettura», 9, 69-87.
- FIORINI A. 2006, *Il campanile*, in A. AUGENTI (ed.), *La basilica e il monastero di San Severo a Classe. La storia, gli scavi*, Ravenna, RavennAntica, 32-34.
- FIORINI A. 2008, *Esperienze di fotomodellazione e stereofotogrammetria archeologica*, in VOLPE, DE FELICE, SIBILANO 2008, 175-186.
- FIORINI A. 2009a, *Rilievo archeologico mediante dispositivo scanner laser 3D. Verso una registrazione tridimensionale delle evidenze stratigrafiche: l'edificio 2 - magazzino - nel sito archeologico di Classe*, in D. BARTOLUCCI, *Principi di laser scanning 3D. Hardware, metodologie applicative, esempi*, Palermo, Flaccovio, 100-105.
- FIORINI A. 2009b, *La torre di Monte Erno (FC): il rilievo tridimensionale e l'analisi archeologica dell'elevato*, in AUGENTI et al. 2009, 73-75.
- FIORINI A. 2010, *Archeologia dell'architettura in Romagna: progetto per la realizzazione di un atlante delle tecniche costruttive di età medievale*, Università di Bologna, Tesi di Dottorato di Ricerca in Archeologia, XXII ciclo.
- Ms. 1834 = Anonimo, *III Visita pastorale di A.M. Cadolini, 1832-35, II*, Archivio Diocesano Cesena, cc.nn., 23 nov. 1834.

- Ms. 1843 = *Inventario di tutte le piante costituenti il [...] di tre fondi [...] della Chiesa di Tipano posti nella stessa Parrocchia, Territorio, e Diocesi di Cesena*, Archivio Diocesano Cesena, cc.nn., 27 sett. 1843.
- Ms. 1890 = *Risposte date da Antonio Calandrini [...]*, Archivio Diocesano Cesena, Parrocchia Tipano, 1890.
- PARENTI R. 1988, *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in R. FRANCOVICH, R. PARENTI (eds.) 1988, *Archeologia e restauro dei monumenti*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 249-279.
- PARENTI R. 2000, s.v. *Architettura, archeologia della*, in R. FRANCOVICH, D. MANACORDA (eds.), *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*, Roma-Bari, Laterza, 39-43.
- PARENTI R. 2004, *La registrazione delle caratteristiche archeologiche delle strutture edilizie*, in M. CATTANI, A. FIORINI, N. VIGGIANI (eds.), *Nuove frontiere dell'archeologia: il trattamento del dato tridimensionale. Atti del Seminario (Ravenna 2004)*, CD-ROM (http://www3.unibo.it/Archeologia/homepage/Documenti/Nuove_frontiere/R_Parenti.pdf; ultimo accesso 12/08/2008).
- PERIPIMENO M. 2009, *Rilievo di monumenti e stratigrafie: l'uso del laser scanner*, in V. FRONZA, A. NARDINI, M. VALENTI (eds.), *Informatica e archeologia medievale. L'esperienza senese*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 111-129.
- SEVERI A. 1996, *Il restauro degli affreschi di Tipano*, Cesena, Italia Nostra, 1996.
- SIBILANO M.G. 2008, *Documentare lo scavo archeologico: nuove forme di comunicazione del metodo stratigrafico*, in VOLPE, DE FELICE, SIBILANO 2008, 149-164.
- TURCI P. (ed.) 2008, *Memorie della Diocesi e della città di Cesena del Canonico Giovanni Urtoller*, Cesena, Ufficio per l'Arte Sacra ed i Beni Culturali, Diocesi di Cesena-Sarsina.
- URCIA A. 2009, *Rilievo tridimensionale*, in AUGENTI *et al.* 2009, 66.
- VOLPE G., DE FELICE G., SIBILANO M.G. (eds.) 2008, *L'informatica e il metodo della stratigrafia. Atti del Workshop (Foggia 2008)*, Bari, Edipuglia.

ABSTRACT

Architectural structures are 3D volumes and their features, which are recognized in the field through archaeological investigation (stratigraphic, metric and formal data), are distributed within the three-dimensions. Stratigraphic wall analysis normally needs front elevations or photo-mosaic images to draw the boundaries between each Stratigraphic Unit (SU). The Stratigraphic 3D component is not recorded because it is not taken into account by these supporting documents. With the support of photo-modelling and stereophotogrammetry, instead, it is possible to record the perimeter and volume of each SU in 3D space and also obtain isomorphic reproductions of the detected object. These copies are high quality photo-textured models that provide a complete overview of architectural volumes and the close dimensional framework (length, depth and width) of mouldings and decorative architectural elements. Moreover, the coordinates of any point can be extracted from these models in order to obtain traditional charts (maps, sections, elevations and axonometric views, useful to understand the process of installation of building elements). The purpose of this paper is to describe different techniques capable of acquiring 3D data of wall stratigraphy in order to define new methods of documentation based on the use of photo-modelling and stereophotogrammetry. The data used for this research refer to excavated sites or high-preserved fabrics of different ages and functions such as the late medieval bell-tower of the basilica of San Severo (Classe, Ravenna), the modern tower of Monte Erno (FC) and the church of San Bartolomeo in Tipano (FC). Starting with these cases, in this article we explore some of the technical aspects of data processing like speed, measurement accuracy, information content and equipment cost.