



Romolo Continenza

Ingegnere, è professore associato di Disegno dell'Architettura presso l'Università degli Studi di L'Aquila. La sua attività di ricerca è concentrata sulle problematiche legate alla rappresentazione architettonica. Ha svolto numerose indagini sul vasto campo del recupero e del restauro urbano. I suoi studi sono stati presentati a conferenze, congressi e workshop, in Italia e all'estero.



Ilaria Trizio

Ingegnere edile, Dottore di Ricerca in Archeologia Medievale, dal 2011 è ricercatore presso l'ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie della Costruzione) di L'Aquila. Nell'ambito delle attività dell'Istituto è responsabile della Linea di Ricerca "Modelli Interpretativi del Patrimonio Culturale" con la quale si occupa di problematiche legate al rilevamento archeologico e architettonico.



Alessandro Giannangeli

Dal 2011 è Collaboratore Tecnico Enti di Ricerca (CTER) presso l'ITC-CNR (Istituto per le Tecnologie della Costruzione) sede di L'Aquila. Nell'ambito delle attività dell'Istituto legate alla Linea di Ricerca "Modelli Interpretativi del Patrimonio Culturale" si occupa di problematiche relative al rilevamento fotogrammetrico di architetture e siti archeologici.



Alessandra Tata

Laureanda presso l'Università degli Studi di L'Aquila, corso di laurea in Ingegneria Edile-Architettura U.E., relatori i docenti dei corsi di "Disegno dell'architettura II" e "Organizzazione del cantiere" lavora ad una tesi di laurea che ha come tematica la valutazione delle interferenze tra le varie lavorazioni nell'ambito del cantiere di restauro attraverso il modello parametrico di un edificio storico.

HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (L'Aquila).

HBIM for restoration projects: case-study on San Cipriano Church in Castelvecchio Calvisio, Province of L'Aquila, Italy.

Sebbene vi siano stati significativi sviluppi nella ricerca volta ad attribuire contenuti semantici ai modelli tridimensionali finalizzati alla documentazione, conservazione e gestione del patrimonio architettonico e archeologico, le applicazioni di GIS 3D a singoli manufatti sono rimaste per lo più esperienze isolate e lontane dall'essere condotte con omogeneità e sufficienti livelli di standardizzazione. In alternativa alla elaborata costruzione dei GIS 3D, la comunità scientifica internazionale ha intrapreso un percorso volto a comprendere quali siano le possibilità applicative del processo HBIM (Historical BIM) all'architettura storica e all'archeologia. In questo contributo si illustra la sperimentazione condotta sulla chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (AQ) a partire dal rilievo integrato dell'oggetto sino ad arrivare alla pianificazione degli interventi di restauro in ambiente BIM.

Although there have been significant developments in research into assigning semantic content to 3D models for the purposes of documentation, conservation and architectural and archaeological heritage management, the application of 3D GIS to individual artifacts has remained rare. Where 3D GIS has been used in this context, it has not been done in a consistent or standardised way. As an alternative to the elaborate construction of 3D GIS, the international academic community has embarked on a process of investigating how HBIM (Historical BIM) might be used in the fields of historical architecture and archaeology. In this paper, we report on experiments carried out at the San Cipriano Church in Castelvecchio Calvisio (AQ) on the basis of the integrated survey of the church, before turning to a discussion of the planning of restoration work in a BIM environment.

Parole chiave: HBIM, documentazione per il restauro, rilievo digitale, modellazione 3D, modelli 3D semantici.

Keywords: HBIM, documentation for conservation, digital survey, 3D modeling, semantic 3D models.

MODELLI 3D SEMANTICI PER LA DOCUMENTAZIONE DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO

La definizione di quali siano le tecnologie digitali più idonee per la documentazione e la gestione dei dati del patrimonio costruito storico è da tempo oggetto di un ampio dibattito internazionale, a tutt'oggi aperto e che converge, in buona sostanza, verso modelli tridimensionali digitali capaci di fornire informazioni stratificate nelle tre, ma spesso anche nelle quattro, dimensioni.

In questo contesto, in cui l'attenzione viene tralasciata dal modello geometrico alla creazione di un database tridimensionale olistico in grado di raccogliere informazioni eterogenee derivate da ambiti multidisciplinari che il modello intrinsecamente fornisce¹, diventa fondamentale la progettazione dell'architettura del sistema informativo relativo al bene da conservare, documentare, gestire.

In base a tali obiettivi, la ricerca ha individuato due principali "ambienti" digitali che forniscono risposte, con vantaggi e svantaggi alterni, alle esigenze sopra richiamate: il GIS (Geographical Information Systems) e il BIM (Building Information Modeling).

A tale proposito, di recente è stata messa a punto una accurata rassegna che analizza puntualmente le principali caratteristiche di ciascun sistema a partire dallo stato dell'arte della ricerca internazionale. Quello che emerge dalla comparazione è che, indipendentemente dallo strumento scelto, per realizzare una efficiente gestione delle informazioni attraverso un modello tridimensionale semanticamente arricchito è necessario prendere in considerazione tre concetti fondamentali quali: (a) la creazione di una ontologia, (b) la concettualizzazione delle relazioni e (c) la specificazione delle gerarchie. Complessivamente, l'arricchimento semantico di un modello digitale tridimensionale è frutto di un processo cognitivo e tecnico che può adattarsi ad uno strumento o all'altro a seconda delle specifiche esigenze del caso ricordando che entrambi gli ambienti si occupano di fornire "informazioni spaziali"². In questo contributo si descrive la modellazione, in ambiente BIM di un edificio ecclesiastico altomedievale, attraverso criteri e gerarchie già definite per precedenti esperienze di GIS 3D a scala architettonica.



Fig. 1. Vista dall'alto del borgo di Castelvecchio Calvisio con la sua caratteristica trama.

IL BIM DELL'ARCHITETTURA STORICA

Se i processi del Building Information Modeling rappresentano una modalità vincente di approccio alla progettazione integrata del nuovo per il mondo professionale, l'utilizzo del BIM per la gestione dell'architettura storica diviene invece un obiettivo strategico da perseguire. Poiché risultano però evidenti le potenzialità espresse dal BIM, nel caso di contesti storici dal rilevante patrimonio informativo (basti pensare ai dati derivanti dal rilievo diretto e strumentale, documenti e disegni d'archivio, foto storiche, risultati di campagne diagnostiche, documentazione di interventi di restauro, etc.), la comunità scientifica internazionale ha iniziato ad occuparsi già da alcuni anni dell'applicazione di questo agli edifici storici e

all'archeologia del costruito, modificando l'acronimo in HBIM, ovvero Historic Building Information Modeling³. La sostanziale differenza tra i due processi, ben espressa di recente da Simone Garagnani⁴, risiede sostanzialmente nel tipo di informazioni che i due tipi di modelli digitali conservano: il processo BIM, per il tramite dei differenti modelli tridimensionali coordina le figure professionali che partecipano alla progettazione integrata (architetti, impiantisti, strutturisti, etc.) pianificando anche i tempi e le modalità di organizzazione e realizzazione del cantiere. Il processo HBIM, che invece indugia sulla fase della conoscenza geometrica, materica e storica dell'edificio, attraverso il rilievo, la definizione del tipo e dello stato di conservazione dei materiali, rappresenta un repository tridi-



Fig. 2, Vista del fronte della chiesa.



Fig. 3, Vista del retro della chiesa, con l'abside semicircolare.

mensionale principalmente orientato alla documentazione del bene e alla pianificazione di interventi di restauro consapevoli.

IL CASO DI STUDIO: LA CHIESA DI SAN CIPRIANO A CASTELVECCHIO CALVISIO (AQ)

La chiesa di San Cipriano, sulla quale è stata sperimentata l'applicazione descritta in questo contributo, è ubicata ai margini del borgo di Castelvecchio Calvisio, in provincia dell'Aquila, all'interno della Baronìa di Carapelle. Tale territorio, situato nell'alto Gran Sasso aquilano, tra la fine del XIII e gli inizi del XIV secolo divenne un consistente dominio feudale dominato fino all'unità d'Italia rispettivamente dalle famiglie D'Angiò, Piccolomini, Medici e Borbone. L'area, che originariamente includeva i territori degli attuali comuni di Carapelle Calvisio, Castelvecchio Calvisio, Santo Stefano di Sessanio e Calascio, attualmente è compresa all'interno del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, con la denominazione "distretto ambientale turistico culturale delle Terre della Baronìa", ed include anche i territori di Barisciano e Castel del Monte⁵.

La fabbrica, probabilmente una tra le più antiche della zona⁶, si presenta come una piccola chiesa campestre le cui murature sono caratterizzate, tanto all'interno quanto all'esterno, dalla presenza di numerosi elementi di reimpiego di epoca classica, evidenza che avvalorava l'ipotesi che vuole la chiesa eretta in prossimità di un insediamento romano-italico se non sul sito di un precedente santuario⁷. Della facies altomedievale dell'edificio originario restano ben poche tracce⁸ mentre è ancora leggibile l'impianto duecentesco sebbene modificato da una serie di interventi che si sono susseguiti nel tempo sino all'ultimo degli anni Ottanta del secolo scorso⁹.

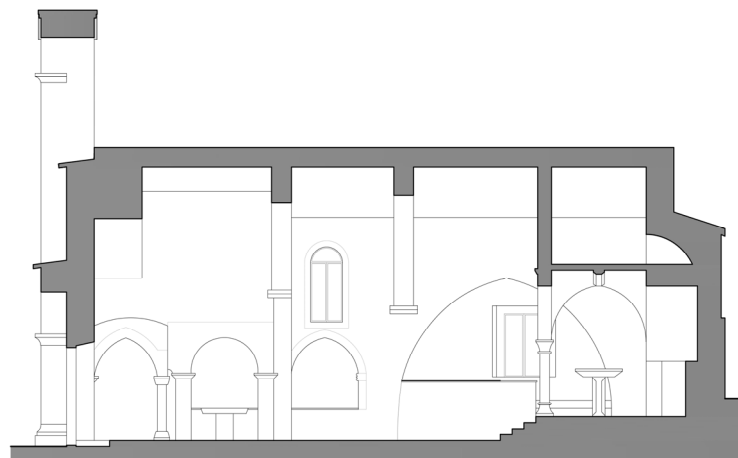
La chiesa, ad una sola navata di 6,60 m per 14 m, internamente è scandita da tre archi diaframma del quale l'ultimo definisce l'area presbiterale. Questa è rialzata rispetto all'aula ed è caratterizzata dalla presenza di un ciborio realizzato con una struttura su colonne coperta con una volta a crociera costolonata, databile al XIV secolo¹⁰, e realizzato obliterando l'originario catino absidale. A sinistra dell'altare, at-



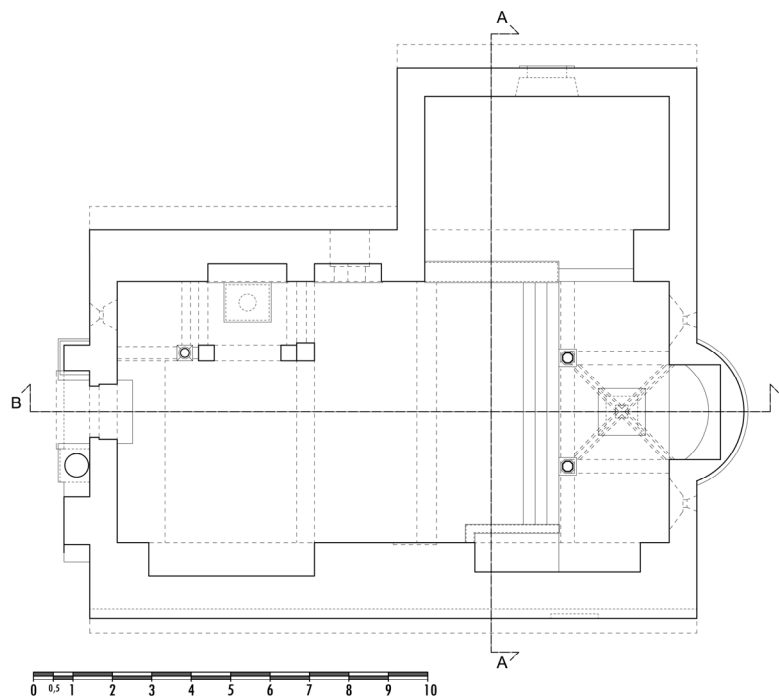
Fig. 4. Vista dell'interno della chiesa.

Fig. 5. Pianta e sezione longitudinale dell'edificio.

traverso un arco a sesto acuto, si accede ad una cappella realizzata nella prima metà del secolo scorso in appoggio alla muratura originaria dell'edificio. A sinistra dell'ingresso si trova una cappellina, con tutta probabilità realizzata congiuntamente al ciborio, coperta con volta a botte e archi a sesto acuto che definiscono due dei quattro lati, impostati su una colonna di modeste dimensioni. Successiva a questa è la cappella dedicata all'Annunziata, costruita in appoggio alla muratura perimetrale e alla precedente. Si tratta di una struttura di modeste dimensioni coperta con volta a botte che frontalmente è caratterizzata da un arco a tutto sesto appoggiato a due pilastri dai quali partono anche i due archi ribassati che ne costituiscono i lati. L'arco e i pilastri sono affrescati, e sul pilastro di sinistra sono ancora leggibili il nome del committente e una data (1429)¹¹. Esternamente la chiesa è in muratura a vista e la facciata è caratterizzata da un campanile a vela, in asse con il portale di ingresso, addossato alla muratura e affiancato da



Sezione B-B



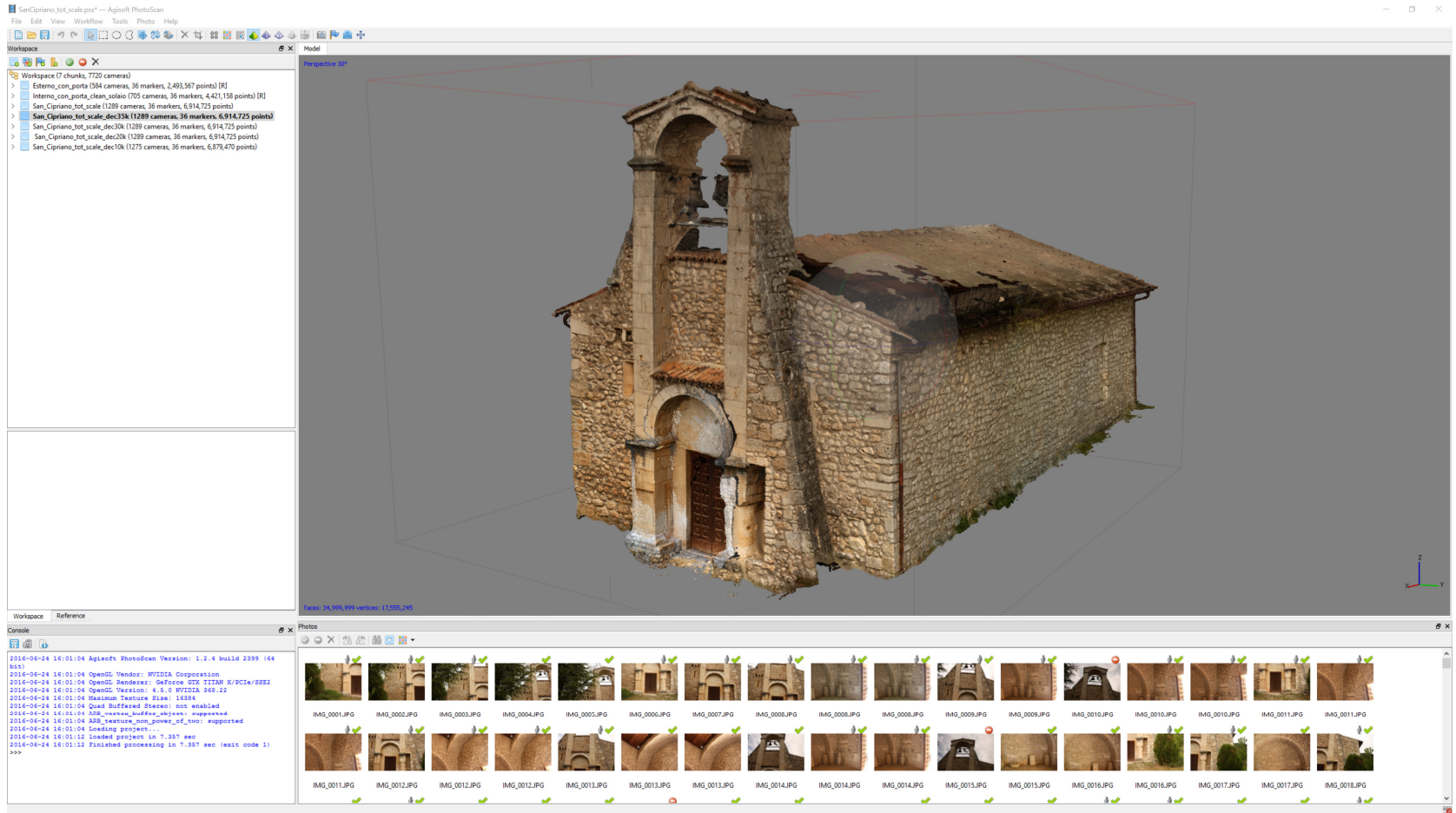


Fig. 6. Screen shot del software Photoscan dell'Agisoft con il modello dell'esterno della chiesa.

speroni, sostenuto da un pilastro e da una colonna di reimpiego. Lo stato di conservazione dell'edificio è complessivamente buono se si eccettuano alcune tracce di umidità da risalita nella parete absidale, delle lesioni di modeste dimensioni in facciata e sulla muratura interna, in corrispondenza delle due

cappelline a sinistra dell'ingresso, ed una generale cattiva conservazione dell'apparato pittorico interno.

LA PROCEDURA FINALIZZATA AL PROGETTO DI RESTAURO

Il workflow seguito per generare il modello parametrico della chiesa di San Cipriano è partito dal rilievo

fotogrammetrico digitale dell'esterno dell'edificio, effettuato con il software di fotogrammetria PhotoScan Professional Edition (release 1.2.2) della Agisoft. All'interno del software sono state interamente gestite le fasi comprese dalla generazione delle quattro nuvole di punti dense a partire da quattro distinti set di immagini digitali, uno per ciascun fronte della chi-

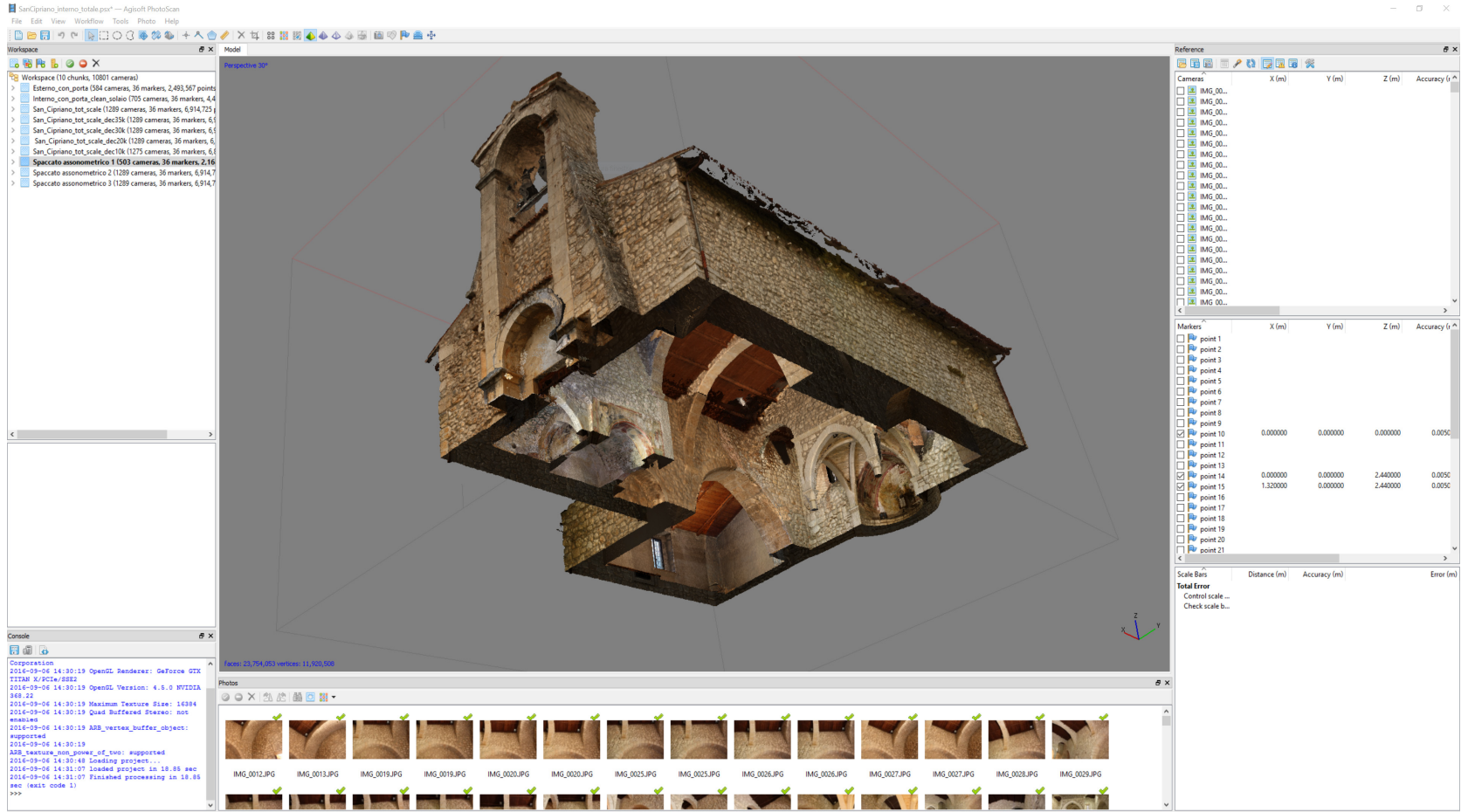


Fig. 7. Screen shot del software Photoscan dell'Agisoft con lo spaccato assonometrico dell'intero modello.

esa, e delle relative mesh texturizzate, alla creazione del modello complessivo in scala dal quale sono stati estratti i quattro fotopiani dei fronti, utilizzati per la realizzazione e successiva texturizzazione del modello parametrico. Tale procedura è stata replicata anche all'interno dell'edificio ecclesiastico a partire da sei set di immagini, uno per ciascun lato dell'aula, a cui se

ne è aggiunto uno per la modellazione del solaio ligneo e degli archi diaframma ed uno per l'ambiente adossato, utilizzato come sagrestia. I due modelli in scala, rappresentativi rispettivamente dell'interno e dell'esterno della fabbrica sono stati quindi uniti con PhotoScan utilizzando i punti in comune visualizzati attraverso la bucatura della porta.

La fase propedeutica alla modellazione in ambiente BIM ha riguardato la progettazione della gerarchia del sistema, organizzata in categorie di componenti architettonici (scomposti in materiali costituenti) seguendo una semplificazione del modello proposto dall'Istituto Superiore Centrale per il Restauro (ISCR) nell'ambito della Carta del Rischio del Patrimonio

HBIM per il progetto di restauro

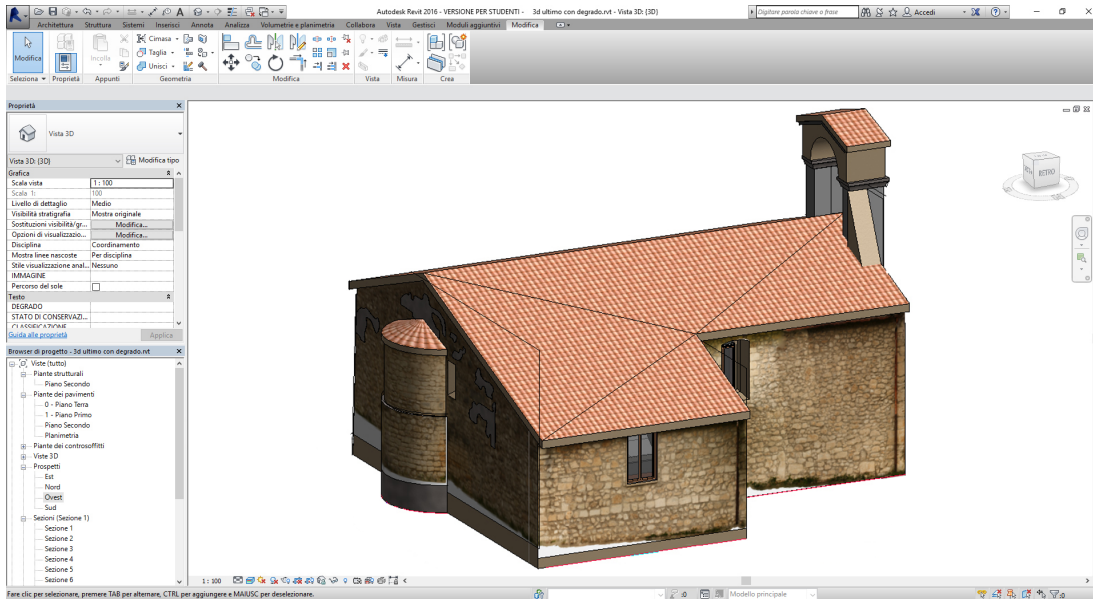


Fig.8, Screenshot del software Autodesk Revit 2015 con una vista esterna del modello parametrico della chiesa.

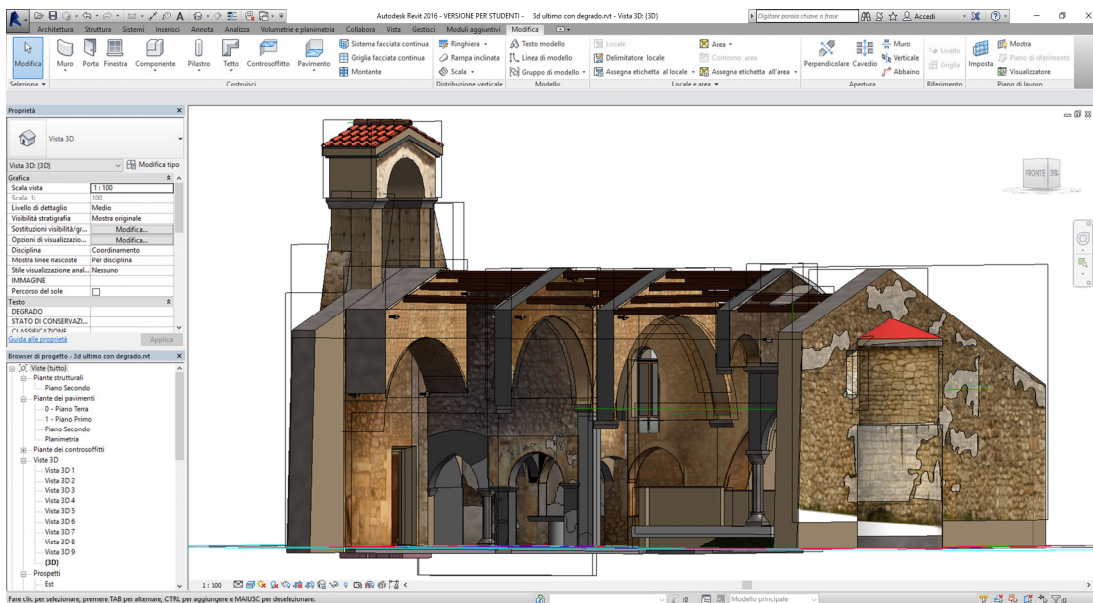


Fig.9, Screenshot del software Autodesk Revit 2015 con la mappatura del degrado dell'interno e dell'abside della chiesa.

Culturale, già utilizzato in precedenza per la realizzazioni di Sistemi Informativi Architettonici tridimensionali (Continenza 2015).

Nella fase successiva, relativa alla generazione del modello parametrico, è stato utilizzato il software Revit 2015 dell'Autodesk con il quale, attraverso il riferimento del modello real-based appena descritto integrato con i dati di un rilevamento diretto, seguendo la struttura gerarchica definita in precedenza, sono state modellate le varie parti dell'edificio. Ciascun componente architettonico è stato interamente realizzato all'interno del software, facendo ricorso alla creazione di opportune famiglie, alle quali sono stati via via associati gli attributi relativi allo stato di conservazione degli stessi e i campi previsti dalle schede dell'ISCR. All'interno del software è stata effettuata anche l'analisi del degrado del monumento, modellando sulla base dei fotopiani a disposizione le superfici rappresentative delle varie patologie riscontrate, quantificabili attraverso gli abachi generati dal software.

Nell'ultima fase di lavoro, infine, il modello è stato esportato nel formato *.DWF (Design Web Format) con la finalità di essere condiviso, visualizzato e misurato con opportuni viewers free (nel caso di specie è stato utilizzato il software Autodesk Design Review). Il progetto, ancora in fase di ultimazione, prevede di sovrapporre al modello parametrico della chiesa i risultati dell'analisi stratigrafico-strutturale condotta in parallelo sull'edificio da un gruppo di lavoro multidisciplinare; come anche i modelli rappresentativi delle varie fasi di vita della chiesa individuate attraverso l'analisi stratigrafica delle murature.

CONCLUSIONI

La sperimentazione appena descritta ha consentito di testare a scala architettonica, non senza difficoltà, quanto già sperimentato in precedenza attraverso i Sistemi Informativi Architettonici tridimensionali (SIArch 3D), ovvero la possibilità di collegare topologicamente dati eterogenei ad un modello 3D rappre-

sentativo di un edificio storico. Sebbene i risultati della sperimentazione siano ancora tutti da verificare in quanto, come anticipato, questa è ancora in itinere, si può affermare che, rispetto ad analoghe sperimentazioni condotte in precedenza, la procedura di modellazione risente poco delle problematiche legate all'interoperabilità tra formati riscontrate con i GIS 3D. Come in quel caso anche qui si può constatare che le maggiori problematiche affrontate derivano dall'uso di software nati per finalità differenti (nel caso del BIM la progettazione di organismi edilizi nuovi piuttosto che il recupero e la gestione del patrimonio costruito esistente). Pertanto, l'irregolarità tipica dei contesti archeologici o degli edifici storici è poco compatibile con l'automaticità delle funzioni del software e con l'impostazione orientata a quei caratteri di regolarità geometrica che caratterizzano l'architettura contemporanea e che rendono impossibile sfruttare appieno le potenzialità del software legate alla serialità, all'uguaglianza di proporzioni, alla ripetizione rendendo, nel caso di contesti storici, continuamente necessario il ricorso a procedure manuali (implementazione di famiglie ad hoc) che allungano i tempi della procedura. Da approfondire ulteriormente è invece l'aspetto legato alla quarta dimensione del modello semantico, intendendo con questo la gestione temporale del bene, effettuata attraverso la pianificazione di programmi di manutenzione, la documentazione degli interventi straordinari e tutte le attività di monitoraggio in senso lato.

NOTA

Il presente lavoro è stato concepito unitariamente dagli autori, ma si attribuiscono a Romolo Continenza i paragrafi 1, 2 e 5; a Ilaria Trizio i paragrafi 3, 4 e 5; ad Alessandro Giannangeli l'intera procedura di rilevamento fotogrammetrico del caso di studio e l'elaborazione dei fotopiani del modello, ad Alessandra Tata l'elaborazione del modello parametrico e l'analisi del degrado del caso di studio.

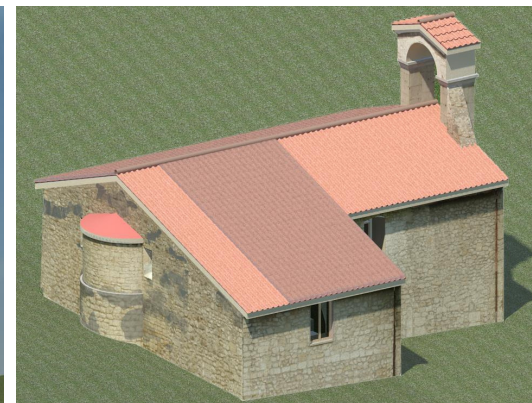
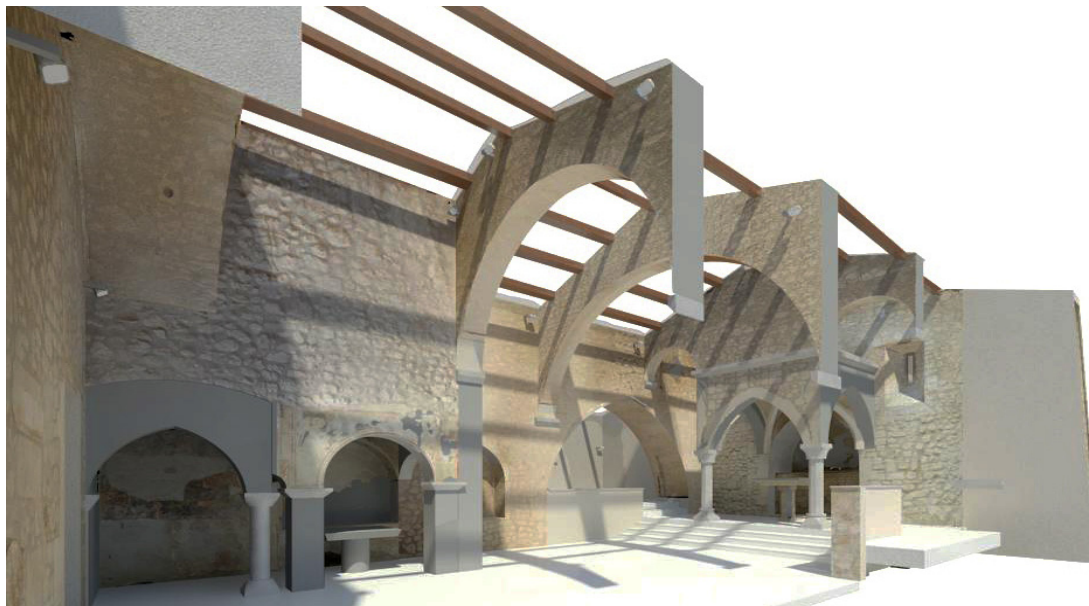


Fig.10, Render dell'interno della fabbrica con, in evidenza, la mappatura del degrado delle superfici.

Fig.11 e 12, Render della facciata e vista da nord-est della chiesa con la mappatura del degrado delle superfici.

NOTE

[1] Saygi e Remondino 2013, p. 697.

[2] Saygi e Remondino 2013.

[3] L'acronimo è stato coniato per la prima volta nel 2009, nell'articolo di M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia (2009), *Historic building information modelling (HBIM)*, in "Structural Survey", 2009 27/4, pp. 311-327.

[4] S. Garagnani 2015b.

[5] Cifani e Cialone 2012, p. 17.

[6] Le prime notizie documentate infatti risalgono al 779, secondo quanto riporta il *Chronicon Volturmen-Volturmensis*.

[7] Staffa 2000, p. 76 e Mattiocco 1988, p. 117.

[8] Una recente indagine stratigrafico-strutturale, condotta da un gruppo di ricerca multidisciplinare di ricercatori del CNR-ITC e archeologi dell'Università degli Studi dell'Aquila, ha cercato di mettere in luce l'evoluzione diacronica dell'edificio, dalla prima conformazione altomedievale sino alle modifiche apportate dai recenti restauri (Redi et al., in corso di stampa).

[9] La chiesa, parrocchiale, nel 1478 divenne rurale con sola funzione sepolcrale; da questo momento probabilmente la sua cura è stata meno attenta, come riportano le visite pastorali susseguites regolarmente già a partire dal 1589 (Mattiocco 1988, p. 118) e le varie perizie documentate (Antinori, 29, vol. 2, 488 e ASA, Intendenza, S. I, Cat. X, B. 1229A) alle quali sono seguiti rifacimenti e interventi di riparazione dell'edificio.

[10] La datazione della tribuna, di gusto goticeggiante, deriva da puntuali confronti con quella della vicina chiesa di San Pietro a Valle di Caporciano (Moretti 1971, pp. 269-

<http://disegnarecon.univaq.it#>

301).

[11] Dall'interpretazione della corografia manoscritta dell'Antinori (Antinori A. L., *Corografia Storica degli Abruzzi*, vol II, 478, ms, Biblioteca Salvatore Tommasi, L'Aquila) si può infatti attribuire la commissione dell'edicola e la relativa decorazione a Luccia di Jaba.

BIBLIOGRAFIA

A. L. Antinori, *Corografia Storica degli Abruzzi*, vol. I and II, ms, Biblioteca Salvatore Tommasi, L'Aquila.

G. Cialone, G. Cifani (2012), a cura di, *Le terre della Baronia. Repertorio ed analisi di vulnerabilità delle chiese dei comuni di Barisciano, Calascio, Castel del Monte Carapelle Calvisio, Castelvecchio Calvisio*, S. Stefano di Sessanio, L'Aquila, One Group Edizioni.

R. Continenza, I. Trizio (2015), *The SIArch-Univaq, an Architectural Information System for Cultural Heritage*, in S. Brusaporci (ed.), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, vol. I, pp. 318-343. Hershey, PA: IGI Global.

E. Costamagna, A. Spanò (2012), *Semantic Models for Architectural Heritage Documentation*, in M. Ioannides, D. Fritsch, J. Leissner, R. Davies, F. Remondino, R. Caffo, eds., *Progress in Cultural Heritage Preservation. Proceedings of 4th International Conference, EuroMed 2012*. Limassol, Cyprus, October 29 – November 3, 2012, Springer, pp. 241-250.

C. Dore, M. Murphy (2015), *Historic Building Information Modelling (HBIM)*, in S. Brusaporci (ed.), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, vol. I, pp. 239-280.

S. Garagnani, A. M. Manferdini (2013), *Parametric accuracy: Building Information Modeling process applied to the cultural heritage preservation*, in 3DArch2013, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XL-5/W1, doi:10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-87-2013, pp. 87-92.

S. Garagnani (2015), *Semantic*

Representation of Accurate Surveys for the Cultural Heritage: BIM Applied on the Existing Domain, in S. Brusaporci (ed.), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling, and Representation*, vol. I, pp. 299-317.

S. Garagnani, (2015b), *HBIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio*, "Ingenio Web", online magazine, No 36/2015, ISSN:2307-8928.

A. M. Manferdini, F. Remondino (2010), *Reality-based 3D modeling, segmentation and web-based visualization*, in M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos, D. G. Hadjimitsis, eds., *Digital Heritage. Third International Conference, EuroMed 2010*. Lemessos, Cyprus, November 8-13, 2010, Proceedings, Springer-Verlag, pp. 110-124.

E. Mattiocco (1988), *Le antiche chiese di Carapelle*, in AAVV, *Hominnes de Carapellas, Storia e archeologia della baronia di Carapelle*, pp. 101-122.

M. Moretti (1971), *Architettura Medievale in Abruzzo*, De Luca, Rome.

D. Oreni, R. Brumana, S. Della Torre, F. Banfi, L. Barazzetti, M. Previtali (2014), *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the basilica di Collemaggio after the Earthquake (L'Aquila)*, in ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-5, pp. 267-273.

A. Osello, A. Acquaviva, D. Dalmaso, D. Erba, M. Del Giudice, E. Macii, E. Patti (2015), *BIM and Interoperability for Cultural Heritage through ICT*, in S. Brusaporci (ed.), *Handbook of Research on Emerging Digital Tools*

for Architectural Surveying, Modeling, and Representation, vol. I, pp. 281-298.

F. Redi, I. Trizio, A. Marchetti, F. Savini (2016), *La chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (AQ) nella Baronia di Carapelle: documentazione speditiva e analisi stratigrafica 3D del manufatto*, in "Archeologia dell'Architettura", in corso di stampa.

G. Saygi, F. Remondino (2013), *Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-art and Future Perspectives*, in "International Journal of Heritage in the Digital Era", vol. 2, No 4, pp. 695-713.

A. Scianna, M. Serlorenzi, S. Gristina, M. Filippi, S. Paliaga (2015), *Sperimentazione di tecniche BIM sull'archeologia romana: il caso delle strutture rinvenute all'interno della cripta della chiesa dei SS. Sergio e Bacco in Roma*, in "Archeologia e Calcolatori", suppl. 7, pp. 199-212.
A. Staffa (2000), *Le campagne abruzzesi fra tarda antichità ed altomedioevo* (sections IV-XII), "Archeologia Medievale", XXVII, pp.17-99.