

Il *Virtual Tour* come strumento digitale di raccordo tra le discipline del disegno e dell'archeologia dell'architettura

Ilaria Trizio, Francesca Savini, Adriana Marra, Andrea Ruggieri

Abstract

*I metodi e gli strumenti finalizzati alla documentazione del costruito storico seguono spesso percorsi differenti in funzione dei lessici propri delle discipline coinvolte nel processo di conoscenza. Tale assunto emerge in tutta la sua evidenza quando si opera in contesti fragili, in cui il rischio di perdita dei beni, dovuto a eventi naturali e/o antropici, è elevato. Pertanto, per favorire un approccio alla ricerca dallo spiccato carattere multidisciplinare, è necessario trovare un raccordo, anche metodologico, che consenta di raggiungere in modo condiviso l'obiettivo comune della conoscenza finalizzata alla conservazione e trasmissione del patrimonio. In questa sede si presentano i risultati di una ricerca volta a testare le potenzialità di un sistema digitale per l'integrazione dei lessici di due discipline: quella del disegno e dell'archeologia dell'architettura. Lo strumento individuato, il *Virtual Tour*, è versatile e di facile utilizzo, e quando opportunamente progettato diviene un hub in grado di raccordare tematismi e renderli accessibili, oltre che ai diversi professionisti, anche a un pubblico ampio, favorendo la gestione del patrimonio da parte degli enti proprietari e la sua fruizione. Le potenzialità dello strumento vengono illustrate attraverso l'applicazione a un caso di studio, la chiesa di San Menna di Lucoli (AQ) che, sebbene di ridotte dimensioni, è caratterizzata da diverse fasi costruttive e da un apparato decorativo dal grande valore storico-artistico.*

Parole chiave: conoscenza dell'architettura storica, rilievo dell'architettura, archeologia dell'architettura, fruizione e valorizzazione del Patrimonio Culturale, Realtà Virtuale a 360°.

Introduzione

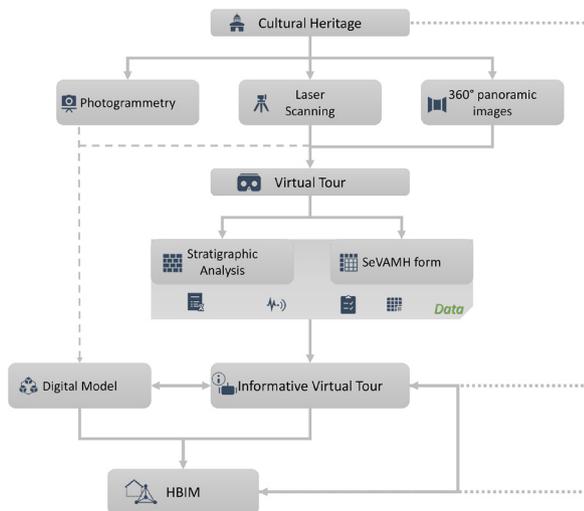
La comunità scientifica, nazionale e internazionale, solitamente attribuisce grande importanza alla rappresentazione digitale dei manufatti del patrimonio culturale (dai GIS 3D agli HBIM passando per i modelli semantici cui è possibile topologicamente legare informazioni), cercando costantemente di trovare in tale espressione il nodo capace di legare i lessici utilizzati dai diversi esperti e di renderli accessibili e fruibili. Pertanto, il modello digitale 3D rappresenta lo strumento privilegiato per garantire un'efficace gestione dei dati derivati dalle analisi geometrico-formali, diagnostiche, archeologiche e storico-artistiche finalizzate a incrementare la conoscenza del patrimonio e propedeutiche ai progetti di restauro. Al suo interno è possibile visualizzare, conservare e gestire i dati acquisiti secondo modalità di

indagine classiche cui si affiancano quelli derivati da approfondimenti mirati, realizzando una reale integrazione tra le discipline coinvolte nel processo di conoscenza.

Nonostante l'evidenza che questo sia lo strumento da prediligere, i tempi necessari a mettere a punto il modello spesso entrano in conflitto con la necessità di documentare speditivamente i beni, in situazioni ordinarie e di emergenza. Per ovviare a ciò è stato testato uno strumento, il *Virtual Tour*, che si pone in una fase temporale intermedia tra quella del rilievo e quella della costruzione del modello digitale 3D, e che rappresenta una modalità alternativa per visualizzare e condividere dati. Nel caso di studio scelto per illustrare le potenzialità del sistema, quello della chiesa di San Menna, il *Virtual Tour* è stato creato a partire dalle immagini

rettangolari ottenute durante le campagne di rilievo laser scanning. Il sistema digitale di visualizzazione, che simula una visita del manufatto attraverso la sua rappresentazione fotorealistica a 360°, è stato opportunamente arricchito con i contenuti della ricerca e trasformato in un *Virtual Tour* Informativo capace non solo di garantire la collaborazione tra varie professionalità, ma anche di supportare in remoto la costruzione dei modelli digitali, numerici e parametrici. Inoltre, le potenzialità del sistema sono emerse soprattutto in relazione al particolare momento storico che stiamo vivendo, segnato dalla pandemia e dall'impossibilità di effettuare sopralluoghi *in situ*. La versatilità e la capacità di connessione proprie del *Virtual Tour* permettono, infatti, di visualizzare e accedere a molte informazioni che possono essere, inoltre, agevolmente incrementate nel tempo trasformando lo strumento in un *repository* virtuale complesso capace di collegare dati eterogenei alla rappresentazione virtuale del manufatto (fig. 1). Il *Virtual Tour* Informativo, infine, se progettato secondo un'architettura logica e funzionale, fornisce una reale opportunità per la divulgazione di dati e informazioni di natura scientifica in quanto permette di raggiungere non solo gli addetti ai lavori, ma anche un vasto target di utenti con livelli culturali, interessi e fasce di età differenti.

Fig. 1. Flowchart per l'implementazione del processo di conoscenza e documentazione attraverso l'uso di sistemi digitali (elaborazione Adriana Marra).



La chiesa di San Menna di Lucoli (AQ): inquadramento territoriale e cenni storici

La chiesa di San Menna è ubicata nella piccola frazione omonima del comune di Lucoli, in provincia dell'Aquila, a circa 25 Km dal capoluogo abruzzese. L'abitato sparso caratterizza ancora oggi questo comune costituito da ben sedici frazioni situate nella vallata del torrente Rio, ai margini settentrionali del parco regionale del Sirente-Velino. Le cosiddette Ville di Lucoli, infatti, ricordano i sistemi insediativi che hanno contraddistinto questo territorio, come quello del vicus italico, delle ville sparse nel periodo romano, dei nuclei abitativi organizzati intorno alle *curtes* e alle *cellae* farfensi dell'alto medioevo o le forme dell'incastellamento medievale. Sul territorio del comune di Lucoli sono tuttora presenti numerose tracce materiali, che, se attentamente interpretate, riescono a raccontare l'evoluzione del territorio e la sua importanza nel passato. È il caso, ad esempio, degli insediamenti di altura pre-romani [Mattiocco 1995], delle molte iscrizioni latine testimonianza del periodo romano, dei possedimenti monastici dell'VIII secolo citati nei registi farfensi [Chr. Farf. 1903], delle architetture militari medievali [Chiarizia, Properzi 1993] e della nutrita edilizia religiosa [Chiappini 1986; Murri 1983].

La chiesa di San Menna (fig. 2) ha una conformazione particolare che lascia intuire i numerosi interventi e rifacimenti subiti nel tempo. Si tratta di un modesto edificio in muratura, con campanile a vela sul retro, internamente diviso in due navate cui si aggiungono due ambienti ubicati dietro il coro che fungono da sacrestia. Apparentemente povero nelle fattezze, questo piccolo manufatto custodisce raffinati affreschi del rinascimento abruzzese, come la Crocifissione attribuita a Saturnino Gatti [Arbace 2012] e realizzata alla fine del Quattrocento durante il periodo di apprendistato nella bottega del pittore Sebastiano di Cola di Casentino.

Il rilievo digitale integrato della chiesa

L'edificio è stato rilevato attraverso l'integrazione di procedure laser scanning e fotogrammetriche finalizzate al rilievo stereometrico della fabbrica e all'acquisizione di fopiani di alta qualità sia dal punto di vista metrico che in termini di qualità dell'immagine (fig. 3). L'acquisizione laser scanning è stata effettuata con uno scanner FARO

Focus S70, dotato di fotocamera integrata con funzionalità HDR, in due campagne di rilievo per un totale di ventiquattro stazioni. I parametri di scansione (definizione, qualità, HDR) sono stati impostati in base alle dimensioni degli spazi rilevati, alla loro complessità e all'articolazione dell'apparato decorativo da acquisire, come anche alle condizioni di illuminazione presenti internamente ed esternamente al momento delle riprese. Il post processamento dei dati è stato effettuato con il software SCENE 2018, raggruppando le scansioni in due *cluster* (uno relativo all'interno della chiesa, l'altro all'esterno) procedendo con la registrazione delle scansioni e con l'elaborazione della nuvola di punti complessiva formata da circa 315MLN di punti. Da ogni punto di stazione è stata generata un'immagine rettangolare utilizzata come base di partenza per la creazione del *Virtual Tour* della chiesa.

Il rilievo fotogrammetrico dell'edificio è stato eseguito con un set di 299 riprese digitali acquisite in un'unica campagna. Le foto, dell'interno e dell'esterno della struttura, sono state scattate con una Nikon D610 equipaggiata con un obiettivo AF-S NIKKOR 24mm f/1.4G ED. Le immagini sono state successivamente processate con il software Agisoft Metashape Professional 1.5.1, in due *chunk* distinti: uno riservato all'interno che ha permesso di ottenere una nuvola densa di circa 35MLN punti; uno all'esterno con una nuvola densa di circa 17MLN punti. Le due nuvole, seguendo una procedura precedentemente testata su manufatti di dimensioni analoghe, sono state successivamente unite tra loro, attraverso i punti in comune collocati sulla porta d'accesso. Dopo la validazione del dato metrico attraverso la comparazione con quella TLS è stata generata dalla nuvola complessiva una mesh

Fig. 2. Viste della chiesa di San Menna di Lucoli AQ (foto degli autori).



di 500MLN facce. Da questo modello, opportunamente scalato, e post processato nel dato colorimetrico grazie all'applicazione di texture fotorealistiche, sono stati generati i fotopiani ad alta risoluzione dei fronti esterni, utilizzati come supporto per l'analisi archeologica delle murature. Le nuvole di punti ottenute con i due differenti metodi di rilievo sono state utilizzate sia come supporto per la restituzione bidimensionale della chiesa (piane, prospetti e sezioni) che per la realizzazione del modello parametrico in ambiente BIM, all'interno del quale sono stati parametrizzati alcuni elementi architettonici e parte dell'apparato decorativo [Trizio et al. in corso di stampa a] e, in fase di implementazione del modello parametrico sono state aggiunte delle 'famiglie' di sensori utili per gestire i dati di monitoraggio del manufatto [Marra et al. in corso di stampa]. Nella fase di costruzione del modello parametrico il *Virtual Tour* predisposto ha permesso di far fronte

all'impossibilità (a causa della contingente situazione di emergenza COVID-19) di effettuare sopralluoghi di verifica in situ, testando l'efficacia dello strumento anche in questa fase e mostrando potenzialità inattese del sistema informativo virtuale.

L'archeologia dell'architettura: le fasi costruttive e l'evoluzione della chiesa

Ogni edificio storico, in quanto vero e proprio palinsesto, racconta il suo passato conservando su di sé le tracce materiali riferite alle fasi di costruzione e distruzione per cause antropiche o naturali. L'archeologia dell'architettura [Francovich, Parenti 1988; Brogiolo, Cagnana 2012], una branca della disciplina archeologica, si occupa di rintracciare questi aspetti attraverso l'applicazione del metodo

Fig. 3. Il rilievo digitale della chiesa: in alto la nuvola di punti da laser scanner e in basso il modello fotogrammetrico (elaborazione grafica Francesca Savini).

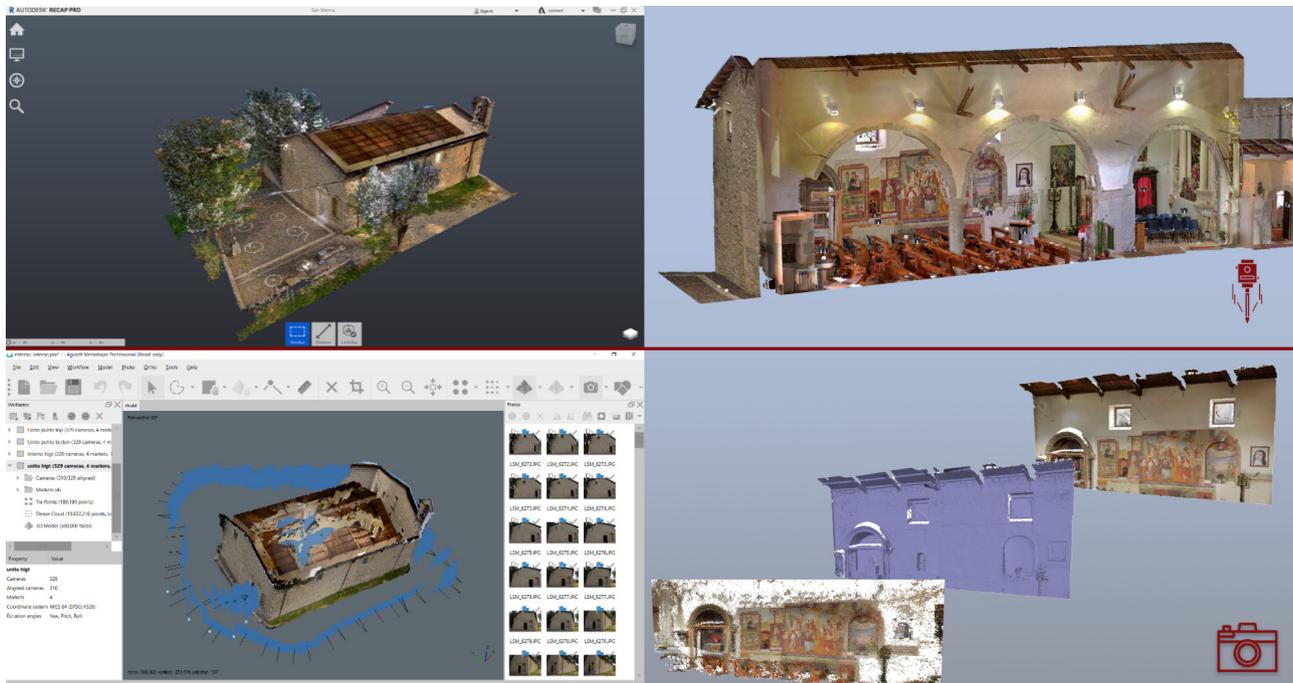
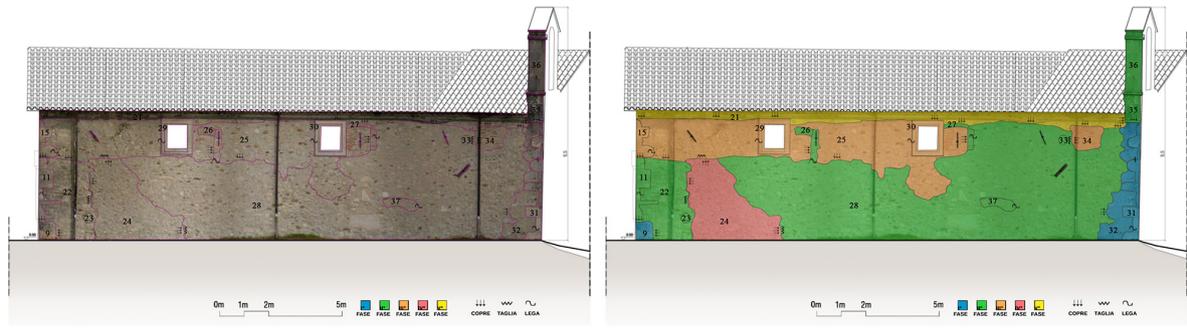


Fig. 4. Prospetti della chiesa con i risultati dell'analisi stratigrafica delle murature: a) prospetto principale; b) prospetto laterale; c) prospetto retro (elaborazione grafica Francesca Savini).



a



b



c

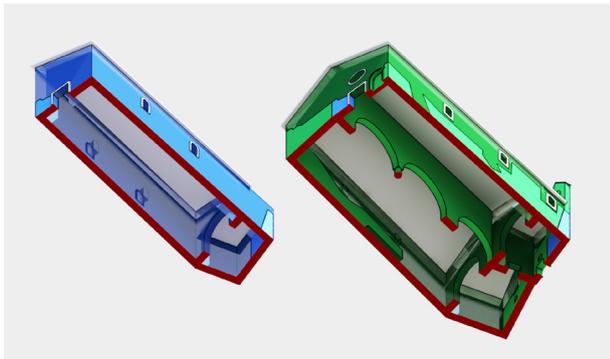
stratigrafico alle murature e la successiva interpretazione dei dati in relazione alle caratteristiche dei territori, alle dinamiche insediative e alle strategie di potere che hanno caratterizzato nel tempo i luoghi. L'applicazione del metodo stratigrafico al costruito storico è finalizzata all'individuazione delle Unità Stratigrafiche Murarie (USM) e alla loro messa in relazione con le fasi del manufatto (costruzione, interventi, manutenzione) e, di conseguenza, alla definizione di una cronologia prima relativa e poi assoluta. La chiesa di San Menna, analizzata in quest'ottica, è ricca di tracce materiali indicative della sua evoluzione storica che sono da correlare alle dinamiche insediative e alle strategie di potere che hanno caratterizzato questi luoghi. Sebbene la prima attestazione documentale del manufatto risalgia al 1215, quando compare citato nella Bolla di Papa Innocenzo III [Placidi 1988; Lico 2001], il toponimo Sancto Mennate, attestato già nell'VIII-IX secolo, rimanda a una frequentazione più antica dell'area. L'ipotesi che il toponimo si riferisca proprio alla villa di San Menna [Marcotulli 2008; Marcotulli 2011] è avvalorata anche dalla presenza, nei documenti del pieno medioevo, della denominazione «S. Mendati» per identificare la chiesa in oggetto [Muratori 1742, p. 950].

Purtroppo, i massivi interventi di restauro moderni e contemporanei che hanno interessato l'edificio sia nel XIX secolo che in seguito alla chiusura al culto negli anni '70 del secolo scorso, hanno notevolmente complicato la sua interpretazione archeologica. La ripresa dei giunti effet-

tuata durante questi interventi ha uniformato le murature dal punto di vista cromatico e, sebbene sia ancora possibile riconoscere le diverse modalità di posa in opera del materiale, non è stato possibile individuare, attraverso la sola ispezione visiva, sostanziali differenze nel legante utilizzato. L'analisi stratigrafica delle murature (fig. 4) ha però consentito il riconoscimento di diversi tipi murari, differenziati in base alla posa in opera e alle tipologie di materiale lapideo impiegato e, malgrado i rapporti stratigrafici non sempre chiari, l'identificazione di cinque fasi che corrispondono ad azioni comprese tra l'edificazione del manufatto e il restauro contemporaneo.

La prima fase rimanda a una chiesa a navata unica, lunga circa 20 metri e larga 6, probabilmente chiusa da un'abside poligonale irregolare. A questa fase appartengono i due cantonali dell'attuale prospetto laterale sud-ovest e l'USM 3 ben visibile in facciata. Le murature in fase con i cantonali sono caratterizzate da bozzette di pietra calcarea di piccole e medie dimensioni messe in opera con conci più grandi ben squadri e probabilmente di reimpiego. La seconda fase corrisponde all'ampliamento dell'edificio che ne ha determinato l'attuale assetto planimetrico, attraverso l'aggiunta della navata sinistra, ben visibile nel rapporto stratigrafico in facciata (con l'USM 2 in appoggio all'USM 3), e del campanile a vela sul retro in continuità con il paramento di prima fase, abbondantemente rimaneggiato dal restauro di fine Ottocento [Vivio 2011]. Le murature che caratterizzano questa fase costruttiva sono più omogenee rispetto alle precedenti e sono costituite prevalentemente da bozzette di medie dimensioni disposte in ricorsi sub-orizzontali. È possibile ascrivere a questa fase anche le finestre, successivamente tamponate, ancora visibili esternamente sui fronti laterali e realizzate in laterizi con la tipologia dell'arco ribassato. Alla terza fase è possibile attribuire la parte sommitale dell'edificio realizzata probabilmente in seguito a un crollo. La presenza di zeppe fittili nella muratura, unitamente allo stile delle finestre e del portale, permettono di ipotizzare che si tratti di un intervento di ricostruzione avvenuto in seguito al sisma del 1703. Anche la quarta fase è riferibile a interventi di ripristino, avvenuti probabilmente in seguito a crolli e dissesti, come l'USM 24 visibile sul prospetto laterale la cui ricucitura con la muratura circostante è stata effettuata con un leggero fuori-squadro. La posizione di questa USM e la particolare conformazione rimandano a un meccanismo di danno locale con espulsione di parte della muratura [Borri et al. 2020]. Il crollo di porzioni di muratura appar-

Fig. 5. Ipotesi evolutive dell'edificio a partire dai dati archeologici: ricostruzione 3D delle prime due fasi (elaborazione grafica Andrea Ruggieri).



tenenti alle fasi due e tre indica un collasso successivo a quello del Settecento che potrebbe essere stato causato da uno degli eventi sismici che hanno colpito il territorio nel corso del XIX secolo. Questa ipotesi è supportata da alcuni documenti conservati presso l'Archivio di Stato dell'Aquila che testimoniano la necessità di lavori urgenti di restauro alla chiesa di San Menna [Vivio 2011].

La quinta fase attesta, invece, gli interventi più recenti a partire da quelli di ricostruzione post bellica documentati per la parete nord-est [Chierici s.d.] fino ai restauri recenti conclusi nel 2000. Le ultime due fasi, caratterizzate da intensi interventi sulle murature, hanno significativamente compromesso l'analisi stratigrafica degli elevati, pertanto è stato solo possibile ipotizzare l'evoluzione della fabbrica (fig. 5). Non è da escludere, però, che l'edificio, visibile nella sua facies medievale, insista su strutture più antiche,

come suggerito dal reimpiego di materiale di origine romana nelle murature [CIL IX, pp. 534, 535], che ne abbiano anche condizionato il particolare assetto planivolumetrico.

Ambienti VR per l'integrazione dei dati

L'utilizzo delle tecnologie digitali per la rappresentazione e documentazione del patrimonio culturale rappresenta un ambito di applicazione particolarmente attuale [Ioannides et al. 2018], come attuale è lo studio degli ambienti digitali finalizzati alla gestione e integrazione dei dati multidisciplinari scaturiti dalle indagini sul costruito storico allo scopo di favorire l'interoperabilità tra i sistemi e la conservazione del patrimonio costruito che caratterizza l'intero territorio nazionale. In questa cornice, molti sforzi della comunità

Fig. 6. Virtual Tour della chiesa di San Menna per la fruizione delle notizie storico-artistiche (elaborazione grafica Francesca Savini).



scientifica internazionale sono finalizzati a comprendere le potenzialità dei più comuni ambienti digitali diffusi nel campo della valorizzazione e dell'educazione con tecniche di *gamification*, e a valutare la versatilità di questi sistemi nei confronti di ambiti di ricerca volti a incrementare la conoscenza, documentazione e analisi del patrimonio costruito storico [Apollonio et al. 2018]. Tra i vari strumenti a disposizione, quelli utilizzati per le esperienze di Realtà Virtuale coniugano al meglio le esigenze tecniche con quelle di valorizzazione e divulgazione, proprio in virtù delle capacità comunicative ampliate dagli ambienti immersivi. Oltre ai mondi virtuali realizzati con piattaforme di Game Engine, che permettono di visualizzare ed esplorare la rappresentazione dei manufatti reali, riprodotti virtualmente attraverso mesh fotorealistiche [Trizio et al. 2018] o con modelli numerici o parametrici [Banfi 2020] trovano un'ampia diffusione i *Virtual Tour* generati a partire dalle immagini. Quest'ultima tipologia è molto utilizzata nel campo della valorizzazione museale e dei siti archeologici, poiché favorisce la fruizione e l'accessibilità al patrimonio [Neovesky, Peinelt 2015; Kersten 2018; Maach et al. 2018; De Fino et al. 2020]. L'utilizzo del *Virtual Tour*, però, ha grandi potenzialità anche per la registrazione e lo scambio dei dati poiché,

Fig. 7. Modalità di sovrapposizione delle letture tematiche per la fruizione dei dati nel *Virtual Tour* (elaborazione digitale Francesca Savini).



quando opportunamente strutturato, diviene un hub in grado di conservare molteplici informazioni e soddisfare le esigenze di diverse figure professionali, come anche quelle di operatori e amministratori che si occupano a vario titolo di costruito storico. In tal senso la struttura multilivello favorisce l'accesso, previa autorizzazione, a informazioni di carattere più tecnico-scientifico come nel caso del monitoraggio strutturale del patrimonio architettonico e infrastrutturale [Trizio, Savini, Ruggieri 2020; Trizio et al. in corso di stampa a]. L'ampia diffusione di questi strumenti è favorita, inoltre, dalla facilità di acquisizione della rappresentazione e dai tempi relativamente brevi per la sua realizzazione. Infatti, sebbene il caso di studio utilizzato per testare lo strumento mostri un esempio di tour realizzato a partire dalle immagini ricavate per ogni punto di presa della stazione laser; i singoli panorami sferici possono essere facilmente ottenuti con una sola immagine generata da una Cam360 o con operazioni di *sketching* (elaborate da software specifici sia proprietari sia gratuiti) di più immagini acquisite con una fotocamera digitale montata su testa rotante e scattate con una buona sovrapposizione.

Il *Virtual Tour* della chiesa di San Menna, parzialmente realizzato per l'interno dell'edificio in occasione di un progetto di monitoraggio dello stato di conservazione degli affreschi [Trizio et al. 2019], è stato successivamente implementato con l'aggiunta delle stazioni che riprendono l'esterno dell'edificio. Le immagini acquisite durante la campagna di rilievo laser scanning sono state appositamente editate nelle dimensioni sorgenti per uniformarle al formato equirettangolare, e successivamente importate nel software proprietario *3DVista Virtual Tour Pro* (release 2020.5.23) per generare panorami sferici e collegarli tra loro, grazie a specifici hotspot che consentono gli spostamenti all'interno di una visita simulata.

Il *Virtual Tour* della chiesa, utilizzato anche per la costruzione del modello parametrico dell'edificio, è stato di volta in volta arricchito con i dati multidisciplinari derivanti dalla ricerca scientifica, rimodulati in chiave divulgativa e fruibili sia dal menu a tendina, costantemente accessibile, che da appositi pulsanti attivabili da ogni *panotour* (fig. 6). Particolare attenzione è stata riservata all'integrazione dei dati dell'analisi archeologica con la rappresentazione VR 360° del manufatto, attraverso specifici percorsi cui sono state aggiunte informazioni derivate dalla sovrapposizione di letture tematiche ottenute editando le immagini equirettangolari. In questo caso il *Virtual Tour*, grazie ad appositi comandi quali *split* o *twin*, consente di visualizzare con-

testualmente sulle immagini sferiche i dati archeologici e la relativa legenda esplicativa, mettendo a disposizione di un pubblico ampio i risultati scientifici (fig. 7). Per favorire la comprensione dell'evoluzione storica dell'edificio, ricostruita a partire dalle evidenze dell'analisi archeologica delle murature, è stata progettata una visita diacronica che, attraverso l'attivazione di appositi pulsanti, permette di visualizzare l'edificio nelle fasi storiche individuate (fig. 8). Inoltre, al fine di aumentare la conoscenza del manufatto e lo scambio dei dati tra professionisti, il *Virtual Tour* è stato strutturato in modalità multilivello, rendendo possibile l'accesso ai dati più tecnici (fig. 9), propri dell'archeologia dell'architettura (prospetti con l'analisi stratigrafica dell'elevato, *matrix* etc.), e della disciplina del disegno (restituzioni grafiche del rilievo, modelli digitali etc.). Il punto di forza del sistema proposto sembra pertanto risiedere nella capacità di far convergere all'interno dello strumento, attraverso contenitori propri del software e link a piattaforme esterne, formati di dati differenti: dai disegni bidimensionali alle foto storiche, dai dati alfanumerici ai modelli digitali numerici e parametrici (fig. 10). Infatti, il team di ricerca porta avanti da tempo sperimentazioni finalizzate alla rappresentazione tridimensionale dell'analisi stratigrafica archeologica in ambiente digitale: dalla texturizzazione dei modelli fotogrammetrici, ai GIS 3D e alla creazione di HBIM a partire dai dati archeologici [Marchetti et al. 2017; Trizio et al. 2019; Trizio, Savini 2020], che hanno dimostrato le potenzialità dell'ambiente BIM. Pertanto, il modello parametrico già collegato al *Virtual Tour*, sarà implementato con i risultati dell'analisi archeologica garantendone la gestione ma anche l'utilizzo nelle fasi di monitoraggio e progettazione di interventi conservativi o di fruizione.

Conclusioni

I modelli tridimensionali che derivano dal processo di acquisizione digitale del reale, oltre che a raccordare le ricerche delle varie discipline coinvolte nel processo di conoscenza, possiedono una versatilità intrinseca che può essere utilizzata in chiave divulgativa. Infatti, il forte valore comunicativo delle scienze del disegno viene ampliato e arricchito dalle tecnologie digitali, e il processo di integrazione di lessici di discipline differenti, come quelli del disegno e dell'archeologia, è sicuramente favorito dalla *computer vision* e dal mondo della grafica e dell'anima-

Fig. 8. Visita virtuale diacronica per la navigazione e visualizzazione dell'edificio nelle sue fasi storiche (elaborazione digitale Francesca Savini).

Fig. 9. Visualizzazione dei dati e delle schede archeologiche nell'ambiente VR (elaborazione Francesca Savini).

Fig. 10. Collegamento alle piattaforme online per la visualizzazione dei modelli digitali (elaborazione Francesca Savini).

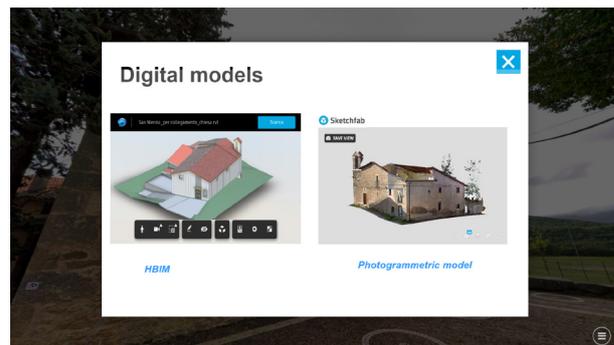
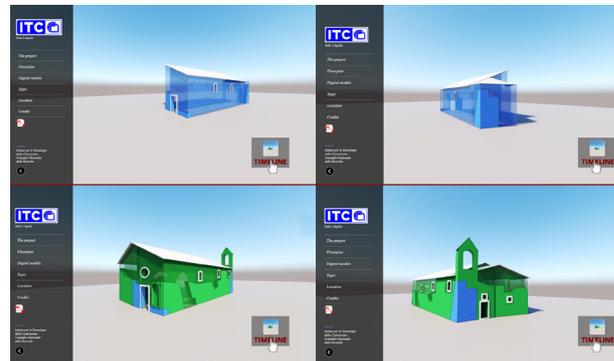


Fig. 11. Modalità di fruizione del Virtual Tour Informativo (foto degli autori).



zione 3D. Il test condotto sulla chiesa di San Menna di Lucoli, infatti, ha confermato che i *Virtual Tour* Informativi rappresentano una modalità speditiva capace di integrare dati eterogenei favorendo, allo stesso tempo, la fruizione e la valorizzazione del patrimonio culturale. La fruizione viene garantita infatti dalle molteplici modalità che spaziano dal formato desktop e tablet alla versione immersiva, che permette di catapultarsi nel mondo virtuale con un

semplice smartphone associato a un *cardboard* o *VR box* (fig. 11) e, se appositamente convertito, il Tour virtuale può essere fruito con dispositivi più performanti come gli Oculus Go. Lo strumento, inoltre, ha dimostrato di essere adatto anche ad una implementazione costante nel tempo, arricchendosi di contenuti informativi sempre più articolati e complessi in relazione al progredire della ricerca e delle analisi condotte sul manufatto.

Crediti e ringraziamenti

Sebbene il contributo sia stato concepito unitamente dagli autori si attribuiscono a Ilaria Trizio i paragrafi *Introduzione* e *Il rilievo digitale integrato della chiesa*; a Adriana Marra i paragrafi *La chiesa di San Menna di Lucoli (AQ): inquadramento territoriale e cenni storici* e *Conclusioni*; a Francesca Savini i paragrafi *L'archeologia dell'architettura: le fasi costruttive e l'evoluzione della chiesa* e *Ambienti VR per l'integrazione dei dati*. A Andrea Ruggieri si attribuiscono il rilievo laser e i modelli ricostruttivi della chiesa. A Adriana Marra si attribuiscono l'analisi dello stato di conservazione degli affreschi e l'implementazione del modello HBIM. A Francesca Savini si attribuiscono l'analisi stratigrafica con l'interpretazione archeologica, il

modello fotogrammetrico della chiesa e la realizzazione del Virtual Tour Informativo con l'aggiunta dei dati. Si ringrazia Alessandro Giannangeli per aver acquisito il set di immagini necessarie al rilievo fotogrammetrico. Si ringraziano Alessandro Agrusti, Roberta Battista, Gianluca Ciuca, Federica Miconi, Daniele Serpetti e Simone Zonfa, studenti del corso di Rilievo e modellazione digitale dell'architettura dell'Università degli Studi dell'Aquila, a.a. 2019/20, per aver realizzato, con il coordinamento del docente, Ilaria Trizio e dei tutor, Alessandra Tata e Andrea Ruggieri, il modello parametrico della chiesa e i modelli numerici e matematici dell'apparato decorativo.

Autori

Ilaria Trizio, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche, ilaria.trizio@itc.cnr.it
 Francesca Savini, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche, savini@itc.cnr.it
 Adriana Marra, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche, marra@itc.cnr.it
 Andrea Ruggieri, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, a.ruggieri3@studenti.unimol.it

Riferimenti bibliografici

Apollonio, F. I. et al. (2018). A 3D-centered information system for the documentation of a complex restoration intervention. In *Journal of Cultural Heritage*, 29, 89-99.

Arbace, L. (2012). *Saturnino Gatti: i volti dell'anima. Vita e opere di un artista del Rinascimento*. Pescara: De Siena.

Banfi, F. (2020). HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. In *Virtual Archaeology Review*, 11 (23), 16-33.

Borri, A., Corradi, M., De Maria, A. (2020). The Failure of Masonry Walls by Disaggregation and the Masonry Quality Index. In *Heritage*, 3(4), 1162-1198.

Brogio, G. P., Cagnana, A. (2012). *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*. Firenze: All'insegna del Giglio.

Chiappini, A. (1986). *Lucoli Medioevale*. Lucoli: Amministrazione Comunale.

Chiarizia, G., Properzi, P. (a cura di). (1993). *Abruzzo dei Castelli. Gli insediamenti fortificati abruzzesi dagli Italici all'Unità d'Italia*. Pescara: Carsa.

Chierici, U. (s.d). *I danni della guerra al patrimonio artistico degli Abruzzi e del Molise, Aquila 1945*. Soprintendenza ai monumenti e alle gallerie dell'Abruzzo e Molise.

CIL = Mommsen, T. (a cura di). (1883). *Corpus Inscriptionum Latinarum vol. IX Inscriptiones Calabriae, Apuliae, Samnii, Sabinorum, Piceni Latinae*.

Chr. Farf. = Balzani, U. (a cura di). (1903). *Il Chronicon Farfense di Gregorio di Catino*. Roma: Forzani e c. tipografi del Senato.

De Fino, M., Ceppi, C., Fatiguso, F. (2020). Virtual Tours and Informational Models for improving territorial attractiveness and the smart management of architectural heritage: the 3D-IMP-ACT project. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIV-M-1-2020, pp. 473-480.

Francovich, R., Parenti, R. (a cura di). (1988). *Archeologia e restauro dei monumenti*. Firenze: All'insegna del Giglio.

Ioannides, M. et al. (a cura di). (2018). *Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection*. EuroMed 2018.

Lecture Notes in Computer Science, vol. 11196. Cham: Springer.

Kersten, T.P. (2018). 3D Models and Virtual Tours for a Museum Exhibition of Viet-namese Cultural Heritage Exhibits and Sites. In M. Ioannides et al. (a cura di). *Digital Heitage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. EuroMed 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 11196. Cham: Springer.

Lico, M. (2001). *San Menna di Lucoli. Cenni storici ed agiografici sulla Chiesa e sul Santo*. L'Aquila: Tipolito 95.

Maach, I., Azough, A., Meknassi, M. (2018). Development of a use case for virtual reality to visit a historical monument. In *2018 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision*, pp. 1-4.

Marchetti, A. et al. (2017). 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*, XXII, pp. 239-253.

Marcotulli, C. (2008). Il conte e l'abate. Incastellamento comitale e trasferimento dei poteri sui monti di Lucoli (AQ) da un'indagine di archeologia 'leggera'. In *Temporis Signa. Rivista di archeologia della tarda antichità e del medioevo* III, pp. 117-139.

Marcotulli, C. (2011). Chiese, castelli e strategie 'baronali'. Le trasformazioni del paesaggio medievale abruzzese fra feudalità signorile e città fondata alla luce della ricerca archeologica: un caso di studio. In *Ricerche Storiche* XLI (1), pp. 181-208.

Marra, A., Trizio, I., Fabbrocino, G. (in corso di stampa). Digital Tools for the knowledge and safeguard of historical heritage. In *Proceedings of 8th Civil Structural Health Monitoring Workshop (CSHM-8)*.

Mattiozzo, E. (1995). Sistemi fortificati preromani lungo la dorsale appenninica abruzzese. In R. Papi (a cura di). *Insedimenti fortificati in area centro-italica*, Atti del convegno, pp. 35-58. Pescara: Tip. Sigraf.

Muratori, L.A. (1742). *Antiquitates Italicae Medii Evii*, vol. VI. Roma: ex Typographia Societatis Palatinae in Regia Curia.

Murri, F. (1983). *Lucoli. Profilo storico*. L'Aquila: Japadre.

Neovesky, A., Peinelt, J. (2015). A Virtual Tour to the Inscriptions of the

UNESCO World Heritage Site St. Michael in Hildesheim. In *Electronic Visualisation and the Arts*, pp. 285-290.

Trizio, I. et al. (2019). Photogrammetric survey and 3D GIS management of mesh in the integrated investigation of complex sites. The case study of the archaeological complex of the Terme di Vespasiano at Cittaducale (RI), Italy. In C. Inglese, A. Ippolito (a cura di). *Conservation, Restoration and Analysis of Architectural and Archaeological Heritage*, pp. 48-80. Hershey PA: IGI Global.

Trizio, I., Savini, F. (2020). Archaeology of buildings and HBIM methodology: integrated tools for documentation and knowledge management of architectural heritage. In *IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*, MetroArchaeo, pp. 84-89. Roma: Athena Srl.

Trizio, I. et al. (in corso di stampa a). Advanced Digital Technologies for Built Heritage Survey and Historical Analysis. In *Proceedings of XV International Conference on Graphic Expression Applied to Building - APEGA 2021*, Redrawing the Future.

Trizio, I. et al. (in corso di stampa b). Digital environment for remote visual inspection and condition assessment of architectural heritage. In *Proceedings of 8th Civil Structural Health Monitoring Workshop (CSHM-8)*.

Trizio, I., Savini, F., Ruggieri, A. (2020). Archeologia dell'architettura e rappresentazione digitale: procedure e strumenti tra connessioni e intersezioni. In A. Arena et al. (a cura di). *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*, pp. 2821-2842. Milano: Franco Angeli.

Trizio, I. et al. (2018). Lost and inaccessible sites: The Heritage Interpretation through applications of VR. In R. Salerno (a cura di). *Drawing as (in) tangible representation. Atti del 40° Convegno Internazionale dei docenti delle discipline della rappresentazione*, Milano 13-14-15 Settembre 2018, pp. 831-836. Roma: Gangemi Editore.

Trizio, I. et al. (2019). Versatile Tools: digital survey and Virtual Reality for documentation, analysis and fruition of Cultural Heritage in seismic areas. In *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W17, pp. 377-384.

Vivio, B.A. (2011). *Relazione tecnico-scientifica 4. Relazione storica, allegato al Piano di Ricostruzione di Lucoli*. Roma: La Sapienza.